

THÈSE DE
PARIS.
1883.
N^o. 30.

56.

E

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. COSTANTIN

Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE COMPARÉE DES TIGES AÉRIENNES ET SOUTERRAINES DES DICOTYLÉDONES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 juillet devant la commission d'examen

MM. HÉBERT *Président.*

DUCHARTRE } *Examineurs.*
PAUL BERT }

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1883

SÉRIE A, N° 56.

N° D'ORDRE

502

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. COSTANTIN

Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure.

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE COMPARÉE DES TIGES AÉRIENNES ET SOUTERRAINES DES DICOTYLÉDONES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 27 juillet devant la commission d'examen

MM. HÉBERT. *Président.*

DUCHARTRE. } *Examineurs.*
PAUL BERT. }



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1883

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Doyen.	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
Professeurs honoraires. {	DUMAS. PASTEUR.	
	P. DESAINS.	Physique.
	PUISEUX.	Astronomie.
	HÉBERT.	Géologie.
	DUCHARTRE.	Botanique.
	JAMIN.	Physique.
	SERRET.	Calcul différentiel et intégral.
	DE LACAZE-DUTHIERS. . . .	Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
Professeurs.	BERT.	Physiologie.
	HERMITE.	Algèbre supérieure.
	BOUQUET.	Mécanique physique et expérimentale.
	TROOST.	Chimie.
	WURTZ.	Chimie organique.
	FRIEDEL.	Minéralogie.
	OSSIAN BONNET.	Astronomie.
	DARBOUX.	Géométrie supérieure.
	DEBRAY.	Chimie.
	TISSERAND.	Mécaniq. rationnelle.
	LIPPMANN.	Calcul des probabili- tés, Physiq. math.
Agrégés.	{ BERTRAND.	Sciences mathémat.
	J. VIEILLE.	<i>Id.</i>
	PELIGOT.	Sciences physiques.
Secrétaire.	PHILIPPON.	

A

M. GASTON BONNIER

MAITRE DE CONFÉRENCES A L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

Témoignage de reconnaissance.

de soutien se réduit. En somme, le milieu dans lequel elles vivent influe considérablement sur leur structure.

J'ai cherché d'abord à éliminer l'influence de l'âge et celle de l'hérédité. Dans ce but, j'ai comparé entre elles les tiges de deux plantes de la même espèce, les unes étant maintenues constamment sous le sol et les autres se développant dans l'air. Les espèces soumises à l'expérience étaient sans rhizomes et les comparaisons ont toujours été établies sur des parties de même âge. J'ai pu ainsi déterminer dans quel sens agit le milieu.

Après avoir isolé cette cause, j'ai cherché à retrouver son action dans les plantes qui ont, dans les conditions naturelles, une portion de leur tige enterrée.

Les divisions de ce travail peuvent donc s'établir de la manière suivante :

I. *Historique.*

II. *Étude expérimentale.*

III. *Application des résultats obtenus aux tiges observées dans la nature.*

HISTORIQUE.

Les divisions de ce travail nécessitent des divisions correspondantes dans l'exposé historique ; de plus, bien que ce mémoire soit exclusivement anatomique, il me semble nécessaire de rappeler brièvement les études de morphologie externe qui ont été faites sur les rhizomes.

1^o *Morphologie externe.* — Linné n'a pas distingué d'organe axile autre que la tige (caudex ascendant) et la racine (caudex descendant) ; Hedwig (1) même a regardé tous les organes souterrains des plantes comme des racines. La notion de tige souterraine est née plus tard et l'idée de rhizome s'est constituée peu à peu. Grew (2) d'abord, de Candolle (3) ensuite, ont constaté depuis longtemps qu'une tige peut prendre, par un exhaussement accidentel du terrain, un aspect de racine. De Candolle a vu, entre autres, un *Eryngium maritimum* enseveli sous les sables mouvants des côtes, des Saules enterrés par les éboulements du sol dans les Alpes, former des arbres souterrains étranges. Dans certains cas même, selon cet auteur, la tige est toujours souterraine ; les Polypodes et les Fougères de nos pays, par exemple, ne sont pas privés de tige, acaules, comme disaient les anciens botanistes, la tige est alors sous le sol et forme une souche horizontale (4). Dutrochet (5) a senti

(1) Hedwig considérait la racine comme le corps de la plante, parce que, dans les herbes vivaces, la tige périt chaque année et que la racine seule conserve la vitalité de l'individu. (De Candolle, *Organographie végétale*, t. I, p. 242 et 349.)

(2) Grew, pl. 5, fig. 4.

(3) *Organographie végétale*, t. I, p. 257.

(4) Lamarck et de Candolle, *Flore française*, 1815, 3^e édition, p. 65.

(5) *Mémoires du Muséum*, 1821, p. 425.

la nécessité, ainsi que de Candolle, de distinguer les organes radiciformes des racines elles-mêmes.

A. Saint-Hilaire (1) a défini les rhizomes en disant que ce sont des tiges souterraines. Ces rhizomes ont été classés par ce botaniste en deux catégories. Si l'on examine, par exemple, le *Primula officinalis*, on voit au centre d'un bouquet de feuilles un bourgeon et, à l'aisselle d'une ou de plusieurs feuilles, un pédoncule florifère; lorsque la fleur disparaît, les feuilles se dessèchent et le bourgeon central se développe l'année suivante sous terre. On a, dans ce cas, un rhizome *indéterminé*. Dans l'exemple précédent, les feuilles sont épigées; elles sont souvent hypogées (*Scirpus*). L'*Euphorbia dulcis* offre un développement tout différent; lorsque cette plante est en fleur, il existe à la base de la tige aérienne un bourgeon écailleux souterrain; ce bourgeon se transformera l'année suivante en tige qui se redressera pour venir former une nouvelle tige aérienne, et la tige florifère actuelle mourra. Chaque tige a une existence limitée, c'est par un bourgeon latéral que la plante continue à vivre : le rhizome est alors *déterminé*.

Après cette étude si nette des tiges souterraines, il y a lieu de s'étonner de voir Richard (2) confondre la souche ou le rhizome avec le pivot; en effet, pour cet auteur, la Carotte est une souche et, selon lui, d'une façon générale la souche est séparée de la tige aérienne par le collet.

L'étude du développement était nécessaire pour bien distinguer ce qui appartient à la tige et ce qui appartient à la racine. Decaisne a montré dans le *Beta vulgaris*, par exemple, que la masse renflée appelée Betterave, est formée à la fois par la racine et par la tige. Les tubercules ne sont donc pas toujours caulinaires; M. Irmisch (3), qui s'est beaucoup occupé de la végétation des plantes herbacées, a distingué trois sortes d'organes renflés et souterrains : les tubercules caulinaires

(1) *Morphologie végétale*, 1840, p. 106.

(2) *Éléments de Botanique*, 1846, p. 93.

(3) *Zur Morphologie der Monokotylyschen Knollen- und Zwiebelgewächsen* (Sur la morphologie des plantes à tubercules et à bulbes. Berlin, 1850).

(*tuber caulogenum*), les tubercules de nature radicale (*tuber rhizogenum*) et les bulbes (*tuber phyllogenum*).

Germain de Saint-Pierre (1) a donné une classification complète des organes souterrains, racines et rhizomes. Les divisions que donne cet auteur sont trop compliquées pour qu'il soit possible de les exposer en détail, mais ce travail met en évidence différents aspects curieux sous lesquels se présentent ces rhizomes. Ils peuvent être courts, à feuilles radicales, ce sont les souches tronquées ; ou renflés, à écailles non charnues, ce sont les tubercules ; enfin courts, à écailles charnues, ce sont les bulbes. Les rhizomes tuberculeux ont surtout fixé l'attention de cet auteur. La tige peut se renfler en tubercule à sa base ou à son extrémité. Dans le premier cas, cet accroissement se produit avant la floraison, comme dans l'*Alisma Plantago* ; ou bien après la floraison, comme dans l'*Orobis tuberosus*. Dans le second cas, la tubérisation s'opère à l'extrémité d'une branche pénétrant de haut en bas dans la terre, comme dans le *Sagittaria sagittæfolia*, et le *Calystegia sepium*, ou bien se propageant sous le sol, comme dans le *Solanum tuberosum*. Il y a, en somme, à recueillir, dans ce travail, une série de renseignements intéressants sur le développement des tiges souterraines.

Le mot souche a été employé par Germain de Saint-Pierre et par un grand nombre de botanistes descripteurs dans un sens un peu vague, que M. Royer (2) a essayé, dans ces derniers temps, de préciser. Une souche, d'après ce botaniste, est un centre végétatif qui produit une tige aérienne ; elle est souvent caractérisée par une rosette de feuilles, ou s'accuse par un renflement. M. Royer fait voir que la répartition des souches sur la longueur de la tige souterraine est variable. Si l'on examine, par exemple, un rhizome de *Mercurialis perennis*, on trouve, à peu près tous les 10 centimètres, des nodosités séparées entre elles par un ou deux entre-nœuds ; c'est seulement

(1) *Bulletin de la Société botanique de France*, séance du 26 novembre 1869, p. 325, t. XVI.

(2) *Bulletin de la Société botanique de France*, séance du 25 mars 1870, t. XVII, p. 147.

de ces nodosités que l'on voit partir à la fois les tiges aériennes et les racines adventives. Si l'on observe le rhizome d'*Iris Pseudo-acorus*, on voit une série de renflements accolés bout à bout ; les plus âgés sont en voie de destruction, le dernier, qui est la souche actuelle, produit seul une tige aérienne. Les rhizomes s'épaississent donc aux points d'où les tiges aériennes partiront ; des réserves considérables de matières nutritives s'y accumulent pour servir aux premiers développements de ces pousses. On comprend, dès lors, que la production des souches doit être en rapport avec la durée de la plante : c'est, en effet, ce qui a lieu. On voit quelquefois des espèces annuelles, quand la première floraison a été tardive, incomplète et n'a pas épuisé les matières nutritives de la souche, vivre et fleurir deux années (*Arabis arenosa*, *Dianthus Armeria*). Dans les plantes bisannuelles, il y a une suspension de la végétation après la production de la tige feuillée, celle-ci peut être remplacée par un bourgeon latéral qui produira la tige florifère l'année suivante (*Melilotus officinalis*) ; on a alors une souche bisannuelle. Elle est plurannuelle, selon l'expression de M. Royer, dans l'*Agave americana*. On voit donc que l'existence d'une souche n'est pas liée forcément à l'existence d'un rhizome.

Dans les cas précédents, après la floraison, toute la plante meurt ; chez d'autres espèces, elle peut produire soit des stolons, soit des drageons, c'est-à-dire des stolons souterrains. Cette production devient quelquefois libre dans le *Solanum tuberosum* ou dans le *Sagittaria sagittifolia* par exemple ; c'est bien alors toujours le même être, mais cependant un plant nouveau et indépendant. La destruction de la souche première a été rapide dans ces plantes ; elle peut être plus lente, comme dans l'*Iris germanica*. Dans tous ces cas, les systèmes ascendant et descendant émis par la souche disparaissent, elle-même se détruit bientôt ; peut-on dire que de telles plantes sont vivaces ; M. Royer ne le pense pas, aussi les appelle-t-il pseudo-vivaces, il les caractérise en disant que toute plante à rhizome défini est pseudo-vivace. Les plantes véritablement

vivaces, d'après M. Royer, seraient celles dont il reste à l'état de vie active une ou plusieurs parties du plant initial.

En résumé, d'après ce travail, on voit qu'on pourrait appeler *souche* toute base de tige aérienne à son insertion sur un organe souterrain, et *rhizome* une tige souterraine présentant des souches successives.

Nous voyons donc, d'après ce qui précède, que les rhizomes présentent sur leur longueur deux parties différentes, celles qui donnent des tiges aériennes et celles qui se propagent dans le sol. Ces parties doivent avoir des structures spéciales.

Examinons maintenant les travaux des auteurs qui en ont étudié l'anatomie.

2° *Morphologie interne.* — M. Vaupell (1), en se plaçant à un point de vue spécial, car il n'étudiait que la croissance périphérique des faisceaux vasculaires, est arrivé à plusieurs conclusions importantes d'anatomie générale. Selon lui, dans les rhizomes, on observe :

1° Une prédominance du parenchyme cortical ou médullaire sur les faisceaux vasculaires ;

2° Un faible développement du prosenchyme ;

3° Un arrêt fréquent dans l'évolution des faisceaux libéro-ligneux.

J'ai eu l'occasion de vérifier presque toutes ces conclusions. Il y a cependant un fait général que cet auteur ne signale pas, c'est la réduction relative de la moelle ; les rhizomes rappellent souvent les racines par le faible développement de cette région.

La seconde conclusion est intéressante, mais ce n'est que par l'expérience et par la comparaison des parties aériennes et souterraines de la même plante, dans un grand nombre d'espèces, qu'on peut arriver à en trouver la raison.

Enfin, les faisceaux libéro-ligneux sont peu développés ; c'est là encore un résultat de l'influence du milieu, qui produit un ralentissement général de la vie de la plante. M. Vaupell ne

(1) *Untersuch. über das peripherische Wachsthum...* (Sur l'accroissement périphérique des faisceaux vasculaires des rhizomes des Dicotylédones), in-8°, Leipzig, 1855.

trouve presque jamais de cellules qu'il nomme libériennes (1); dans les faisceaux du bois il n'y a plus que des vaisseaux et du parenchyme. Malgré la grande réduction des faisceaux libéro-ligneux, que j'ai pu souvent constater, le liber existe toujours et les tubes criblés le caractérisent dans les rhizomes, ainsi que je l'ai vérifié.

M. Vaupell classe les rhizomes en plusieurs catégories :

1° L'accroissement, comme dans les tiges des Dicotylédones ligneuses, peut se produire par couches annuelles (*Saxifraga umbrosa*) ;

2° Dans d'autres plantes, on ne distingue pas de couches annuelles déterminées (*Sempervivum arboreum*) ;

3° Le développement s'arrête à la période primaire (*Anemone nemorosa*) ; on aurait alors un exemple remarquable d'une tige de Dicotylédone, âgée de plusieurs années, sans formations secondaires.

Je crois que M. Vaupell s'est un peu trop avancé dans ce dernier cas ; il est certain que, dans l'*Anemone nemorosa*, les faisceaux restent peu développés ; mais, quoique l'activité de la couche génératrice entre le bois et le liber soit très ralentie, son existence est certaine.

On voit donc, par ce simple aperçu, combien sont profondes les différences qui existent entre la structure des tiges aériennes et celle des rhizomes.

Les différences sont si grandes, qu'elles ont amené M. Chatin (2) à se demander si l'on n'avait pas été trop loin en réunissant ces deux parties de l'axe sous le nom de tige, et si le rhizome ne serait pas un organe intermédiaire entre la racine et la tige. Les dissemblances qu'il trouve entre ces deux parties sont, en effet, très importantes. Les caractères anatomiques des rhizomes sont les suivants :

(1) Comme la découverte des tubes criblés par Hartig est de 1854, que l'étude de Hugo Mohl sur le même sujet date de 1855, M. Vaupell ne parle pas des cellules criblées, caractéristiques du liber.

(2) Sur les caractères anatomiques des rhizomes (*Bulletin de la Société botanique de France*, 1858, t. V, p. 39).

1° L'épiderme simple des tiges aériennes est remplacé par un épiderme composé formé de cellules aplaties, disposées en séries radiales et colorées en brun rougeâtre (1).

2° Les fibres corticales diminuent et souvent même disparaissent complètement.

3° Les faisceaux ligneux sont séparés par de profondes rentrées des rayons médullaires.

4° Les trachées déroulables sont absentes.

5° Le plus souvent la moelle n'est pas ponctuée.

Aucun de ces caractères n'est absolu, mais un au moins, d'après l'auteur, se retrouve toujours dans les rhizomes.

A l'époque de la publication de cette note, la présence générale des vaisseaux spiralés dans les racines des Dicotylédones était méconnue; l'absence des trachées dans les rhizomes semblait donc un caractère les rapprochant des racines. D'ailleurs, M. Chatin constate que la présence de ces vaisseaux est ordinaire dans les rhizomes des Monocotylédones; il cite également comme ayant des trachées, parmi les Dicotylédones, un certain nombre de tiges souterraines (*Osyris alba*, *Geranium sanguineum*). Le caractère donné n'est donc pas général; j'ai d'ailleurs toujours constaté, pour ma part, l'existence des vaisseaux spiralés dans les rhizomes.

Sauf le point précédent, mes observations s'accordent complètement avec celles de M. Chatin, mais je ne pense pas que l'on puisse regarder les rhizomes comme des organes intermédiaires entre la tige et la racine. Malgré les différences dont nous venons de parler, le rhizome possède toujours la structure d'une tige; s'il se modifie profondément, ses changements tiennent à son séjour sous le sol.

D'autres auteurs se sont occupés de la structure des rhizomes, mais à un point de vue spécial: ils ont étudié soit une famille, soit une espèce.

Les Labiées ont fait l'objet d'un travail anatomique de Kir-

(1) C'est-à-dire qu'il existe ce que Hugo Mohl a appelé une couche subéreuse (*Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung des Korkes und der Borke auf der Rinde der baumartigen Dicotylen*, 1836).

choff (1). Cet auteur a compris dans son mémoire l'étude de la tige aérienne, du rhizome, des racines, des feuilles et de l'inflorescence des plantes de cette famille. Il a trouvé, pour les rhizomes, que les entre-nœuds s'allongent d'autant plus qu'ils sont plus rapprochés de la tige aérienne ; il a vu que leur structure rappelle beaucoup celle de cette dernière partie, avec cette différence que les faisceaux s'y réunissent de très bonne heure. Dans ce mémoire, l'auteur n'insiste pas sur les deux faits saillants que j'ai retrouvés partout dans les Labiées, l'arrondissement de la tige dans les tiges souterraines et la disparition du collenchyme qui existe si bien développé aux angles de l'écorce dans la partie aérienne.

Je ne me suis proposé que l'étude des tiges souterraines, j'ai donc laissé de côté les plantes aquatiques ; il est cependant intéressant de rappeler, dans cet historique, l'important travail de M. Trécul sur le *Nuphar luteum* (2). Il y a surtout à retenir, de cette étude approfondie d'une espèce, la structure spéciale des faisceaux du rhizome ; on n'y trouve rien d'analogue aux fibres du liber. On voit donc que, même dans les plantes aquatiques, les éléments de soutien disparaissent dans les tiges souterraines.

Je ne me suis occupé, dans ce mémoire, que de la comparaison de la structure des tiges aériennes et souterraines des Dicotylédones. Je ne parlerai donc point des travaux qui traitent purement de l'anatomie des rhizomes des Monocotylédones (3) ; seulement je ne crois pas devoir passer sous silence l'étude comparée des tiges aériennes et souterraines de l'*Epipogon Gmelini* et du *Corallorhiza* de M. Reinke (4). Cet

(1) *De Labiatarum organis vegetativis commentarium anatomico-morphologicum*, 1860.

(2) *Annales des sciences naturelles*, 3^e série, t. IV.

(3) *Falkenberg, Vergleichende Untersuchungen über den Bau der Vegetationsorgane der Monocotylen* (Recherches sur la structure des organes végétatifs des Monocotylédones). Stuttgart, 1876. — Mangin, *Ann. d. sc. nat.*, 6^e série, t. XIV, p. 216.

(4) *Zur Kenntniss des Rhizoms von Corallorhiza und Epipogon* (Flora, 1873, n^{os} 10, 11, 12, 14).

auteur a trouvé, en effet, une structure très différente dans le rhizome et dans la partie aérienne de cette première plante; le rhizome ne présente pas de vaisseaux dans le cylindre central, on n'observe pas dans cette région de différenciation en bois et en liber; dans l'inflorescence, au contraire, il existe un cercle de faisceaux avec des vaisseaux et des fibres. Une organisation analogue se retrouve dans le *Corallorhiza*.

M. Van Tieghem, voulant faire une étude parallèle à la note curieuse qu'il a publiée sur l'Utriculaire (1), a choisi pour type l'*Adoxa Moschatellina* (2). Il est difficile de trouver, en effet, entre le rhizome, et la partie aérienne d'une plante des différences plus grandes; dans le rhizome, on voit un cylindre central très petit et la moelle, très réduite, est entourée d'un cercle complet de vaisseaux du bois; dans la tige aérienne, il existe, au contraire, quatre faisceaux absolument isolés. Nous reviendrons sur cette plante dans le cours de ce mémoire.

Après les études d'ensemble sur les rhizomes, après les monographies d'une famille ou d'une espèce, examinons les monographies spéciales d'une membrane. L'épiderme méritait particulièrement de fixer l'attention des botanistes; on sait, en effet, combien cette assise subit les influences du milieu dans les plantes aquatiques, il était donc intéressant de savoir comment l'épiderme se modifie dans les organes souterrains.

M. Weiss (3) s'est occupé de cette question un peu incidemment, il a constaté qu'il peut y avoir des stomates sur les rhizomes, mais l'étude approfondie de cette question est due à M. Hohnfeld (4). Voici les principaux résultats de son travail :

1° Il y a plus de stomates en général sur les tiges aériennes

(1) *Anatomie de l'Utriculaire commune* (Annales des sciences naturelles, Botanique, 5^e série, t. IX, p. 54).

(2) *Anatomie de la Moschatelline* (Bulletin de la Soc. bot. de France, t. XXVI, p. 282).

(3) *Beitrag zur Kenntniss der Spaltöffnungen* (Contribution à l'étude des stomates) (Verhandlung der Zool. und. Bot. Vereins in Wien, 1857, p. 19).

(4) *Ueber das Vorkommen und die Vertheilung, der Spaltöffnungen auf unterirdischen Pflanzentheilen* (De la présence et de la répartition des stomates sur les parties souterraines des plantes). Dissert inaug., Königsberg, 1880.

que sur les tiges souterraines; les stomates peuvent même manquer sur ces dernières (*Asarum europæum*, *Senecio saracenicus*, *Campanula glomerata*, etc.).

2° Il y a des stomates sur les bractées écailleuses souterraines, mais, en général, moins à surface égale que sur les feuilles aériennes.

3° Il y a souvent plus de stomates à la face supérieure qu'à la face inférieure des écailles souterraines.

3° *Physiologie*. — On a vu précédemment que M. Chatin (1) avait constaté souvent la diminution des fibres libériennes dans les parties souterraines des plantes; c'est pour cet auteur un simple fait anatomique curieux, dont il n'affirme pas la généralité et dont il ne cherche pas la cause. M. Schwendener (2) a été frappé du développement extraordinaire que prend la partie fibreuse des Monocotylédones, il en a cherché la raison. Son travail, quoique purement anatomique, touche donc à une question physiologique importante.

Pour expliquer le rôle des fibres, ce botaniste part d'une idée émise à priori qu'il cherche à vérifier par l'anatomie comparée. Résumons succinctement ses recherches. Quels sont les moyens employés par la plante pour s'affermir? Comment un pédoncule floral, une tige aérienne, peuvent-ils se dresser vers le ciel? Tout l'appareil de soutien est produit par la création d'un élément spécial, la cellule mécanique; cette cellule est allongée, prosenchymateuse et à ponctuations tournantes. Ayant trouvé l'élément de soutien par excellence, M. Schwendener cherche sa situation dans les organes cylindriques et dans les organes bilatéraux. Il trouve ainsi vingt types dans les premiers et huit dans les derniers. Il groupe ensuite de la même façon les Dicotylédones, les Gymnospermes et les Cryptogames vasculaires. L'auteur constate, en somme, que ces cellules mécaniques peuvent se former par-

(1) *Loc. cit.*

(2) *Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen* (Le principe mécanique dans la structure anatomique des Monocotylédones). Leipzig, 1874.

tout ; que les fibres isolées ne se distinguent en aucune façon des fibres des faisceaux ; que la gaine de prosenchyme des tiges de Monocotylédones et le collenchyme ont la même fonction, et sont deux stades dans le développement d'un même organe. En concluant, il se demande si l'on doit regarder ce système comme dépendant des lois physiologiques ; il croit avoir donné une réponse affirmative à cette question par son important travail.

L'anatomie comparée des tiges aériennes ne suffit pas pour fournir une preuve indiscutable du rôle des cellules mécaniques. C'est par l'étude des rhizomes et des racines que M. Schwendener aurait pu trouver les preuves des fonctions du système de soutien. Au lieu de cela, il suppose que, dans ces organes souterrains, la disposition des tissus est encore en rapport avec l'affermissement. C'est dans la tendance qu'ont les faisceaux à se rapprocher du centre que cet auteur voit un argument en faveur de cette opinion. Il me semble que pour comprendre le rôle de ce système mécanique il fallait :

1° Faire la comparaison de la tige aérienne et de la tige souterraine de la même plante ;

2° Vérifier par l'expérience les résultats trouvés en faisant croître les tiges aériennes sous le sol et réciproquement.

L'important travail de M. Schwendener en a suscité d'autres : M. Haberlandt (1) a décrit le développement du système mécanique ; M. Falkenberg (2), en étudiant les Monocotylédones dans leurs organes végétatifs, a adopté les idées de M. Schwendener. Pour ce dernier auteur, le collenchyme, si fréquent dans les Dicotylédones, si rare dans les Monocotylédones (tige de *Tradescantia*, *Zea Mays*), fait partie de l'appareil de soutien ; ce serait une forme de passage entre le tissu parenchymateux et le tissu fibreux.

Cet ensemble de travaux aurait dû conduire à entreprendre des études expérimentales, mais je n'ai pu trouver

(1) *Entwicklungsgeschichte des mechanischen Gewebesystems* (Étude du développement du tissu du système mécanique). Leipzig, 1879.

(2) *Loc. cit.*

6^e série, BOT. T. XVI (Cahier n° 1)².

dans mes recherches bibliographiques aucun auteur s'étant occupé de ce sujet d'une manière générale (1). Le séjour des plantes en terre modifie profondément leurs conditions d'existence; une des premières causes de modification est l'absence de lumière. Aussi ai-je été amené à chercher comment l'étiollement changeait la structure des plantes.

L'allongement des tiges et la réduction des feuilles poussant à l'obscurité ont été constatés depuis longtemps par de Candolle, Meyen, Treviranus. M. Sachs s'est occupé de cette question, mais M. Kraus (2) a essayé le premier d'en donner une explication. D'après cet auteur, dans les tiges poussant à la lumière, la moelle est la partie active pendant la première période de leur existence; pendant la seconde, les éléments ligneux s'épaississent et résistent à l'accroissement de la moelle; la résultante de l'effort que fait la moelle pour s'accroître et de la résistance qu'opposent les éléments ligneux produit la longueur normale de la tige. Dans les tiges étiolées, les éléments ligneux ne s'épaississent pas; la moelle, n'étant pas entravée dans son allongement, produit la croissance exagérée de la tige entière.

L'arrêt de développement des éléments ligneux d'une plante poussant à l'obscurité, que M. Kraus avait annoncé, a été vérifié par M. Rauwenhoff (3) dans un très remarquable mémoire;

(1) M. Stapf (*Verhandl. k. k. zool. bot. Gesellschaft in Wien.*, 1878, p. 231) a étudié, sur la Pomme de terre, l'influence que la modification des conditions de la vie exerce sur la conformation des organes de cette plante. Il a fait pousser des tubercules à la lumière diffuse, à l'obscurité, sous l'eau, dans une atmosphère pleine de vapeur d'eau, et enfin dans une cave. Il a trouvé que l'allongement est maximum quand la transpiration se fait le plus difficilement et que la plante est à l'obscurité. Dans ce cas, selon cet auteur, le nombre des stomates est le plus considérable (ils se développent en lenticelles quand la transpiration est suspendue). En même temps l'amidon disparaît et les faisceaux sont très dégradés.

(2) *Ueber die Ursachen der Formänderung etiolender Pflanzen* (Sur les causes des changements de forme des plantes étiolées) (*Pringsheim's Jahrbücher für wiss., Bot.*, t. VII, p. 209).

(3) *Sur les causes des formes anormales des plantes qui croissent dans l'obscurité* (*Archives néerlandaises*, t. XII; *Annales des sciences naturelles*, 6^e série, t. V, p. 266).

dans ses expériences, cet auteur a fait pousser, dans les mêmes conditions, un certain nombre de plantes les unes à la lumière, les autres à l'obscurité. En opérant ainsi, il a obtenu, dans plusieurs cas, un développement considérable à l'obscurité; il a même continué l'expérience assez longtemps avec la Fritillaire pour avoir des fleurs complètement formées à l'abri de la lumière possédant des pétales colorés, des étamines et un pistil bien constitués. En somme, M. Rauwenhoff a trouvé que le parenchyme cortical et surtout la moelle se développent beaucoup, tandis que les faisceaux du bois restent très dégradés dans les plantes étiolées.

Les rhizomes se propagent le plus souvent horizontalement dans le sol; M. Elfving (1) a cherché quelle était la cause de cette direction. Il a cultivé comparativement quelques rhizomes, les uns dans leur situation normale, d'autres ayant tourné de 180 degrés autour de leur axe, quelques-uns verticaux, enfin un dernier groupe ayant une direction oblique, la pointe étant en haut ou en bas. Cet auteur a trouvé que les rhizomes ne sont pas dorsi-ventraux, car ils ne se tordent pas quand ils sont retournés autour de leur axe. M. Elfving a également constaté que les rhizomes placés verticalement ou obliquement ne redeviennent pas complètement horizontaux, l'obliquité peut même être de 25 degrés sur l'horizon.

En résumé, bien que l'étude anatomique des rhizomes ait fait l'objet des travaux de M. Chatin et de M. Vaupell, l'étude comparée des tiges aériennes et des tiges souterraines est à faire. Le mémoire de M. Schwendener sur l'appareil de soutien a montré l'importance des cellules mécaniques dans les tiges aériennes; il est intéressant de voir, pour chaque plante, ce que devient cet appareil dans les tiges souterraines.

La comparaison des deux régions, aérienne et souterraine, de la tige montre des différences entre ces deux parties; un

(1) *Ueber einige horizontal wachsende Rhizome* (Arbeit. bot. Instit., in Würzburg, 1880, t. II, 3^e partie.)

certain nombre d'entre elles sont communes à toutes les plantes; peut-on dire que le séjour sous le sol produit ces différences communes? L'expérience peut seule répondre à une telle question. Or on a vu qu'aucune tentative n'a été faite pour résoudre ce problème.

Cette étude expérimentale conduit à rechercher si l'absence de lumière est la seule cause modifiant la structure des plantes enterrées; il est intéressant de comparer, à ce point de vue, les tiges expérimentalement enterrées aux tiges développées à l'air, mais à l'abri de la lumière.

J'ai essayé, dans ce travail, de résoudre quelques-unes de ces questions.

PRÉLIMINAIRES. — ÉTUDE DE LA RONCE.

Avant de commencer l'exposition de la partie expérimentale, il est important d'en démontrer la nécessité. Peut-on attribuer uniquement au milieu les différences qui existent entre la partie aérienne et la partie souterraine des plantes? Il n'y a rien; il peut y avoir, en effet, plusieurs types de structure pour les tiges d'une même plante, croissant dans un milieu identique. Un grand nombre de plantes présentent entre les différentes parties de leurs tiges, croissant dans le même milieu, des différences exclusivement morphologiques. Il suffit de feuilleter, par exemple, l'*Anatomie comparée des végétaux* de M. Chatin (1), pour s'en convaincre.

L'étude anatomique de l'enracinement d'une branche de *Rubus fruticosus* m'a fourni l'occasion d'apprécier la complication du problème que je me proposais, et d'isoler quelques-unes des causes produisant les différences de structure qui existent entre les parties aérienne et souterraine. Je vais prendre d'abord cet exemple particulier et le traiter complètement pour mieux faire comprendre le but de mon travail.

L'enracinement de la Ronce est un fait bien connu, tout le monde a eu l'occasion de voir la Ronce former ses grandes arcades; si l'on parcourt les bois à l'automne, on voit les tiges de cette plante arriver au contact du sol et s'y enfoncer bientôt. Au commencement de novembre, si l'on arrache ces extrémités, on voit que la tige s'est renflée en un tubercule blanchâtre portant un épais chevelu de racines adventives, muni de jeunes feuilles et se terminant par un bourgeon qui se recourbe, déjà prêt à s'élancer hors du sol. Germain de Saint-

(1) 1° *Plantes aquatiques*. 2° *plantes aériennes*, 3° *plantes parasites*, 4° *plantes terrestres*, Paris, 1856, 1859.

Pierre (1) avait bien décrit ce mode d'enracinement et de propagation, cette marche « par longues enjambées ». Au printemps, cette tige souterraine émet une première pousse qui s'enracinera de la même manière à l'automne suivant. La tige mère meurt ensuite, et le tubercule continue à végéter sous le sol; il grossit considérablement, durcit et émet, à chaque reprise de la végétation, de nouveaux rameaux qui sortent de dessous terre et qui peuvent propager la plante de la même façon.

On a donc là un rhizome, un rhizome spécial il est vrai, car il provient d'une tige aérienne. Sa structure diffère beaucoup de celle de la tige qui l'a produit : peut-on dire que le milieu seul détermine les différences qu'on trouve entre ces deux régions de l'axe? Pour élucider cette question deux choses étaient nécessaires :

- 1° Suivre le développement du tubercule ;
- 2° Comparer le tubercule et la tige maintenue enterrée.

1° *Enracinement de la tige et développement du tubercule.* — Lorsque la tige aérienne s'enracine, l'épiderme change de coloration, il devient blanc, des racines adventives naissent en grand nombre (pl. I, fig. 7). En même temps, la structure interne se modifie profondément : le parenchyme cortical se développe beaucoup ; une assise subéreuse, déjà indiquée dans la partie aérienne (pl. I, fig. 1, *as*), formée aux dépens de l'endoderme, prend ici un important accroissement (fig. 2, *as*). L'assise génératrice libéro-ligneuse entre en très grande activité, les faisceaux s'allongent énormément (fig. 2, *cg*) ; mais il est à remarquer que les fibres libériennes (fig. 2, *fl*) ne suivent pas l'accélération de l'ensemble des autres tissus. Dans la moelle, la lignification se produit très près de l'ex-

(1) *Bulletin de la Soc. bot. de France*, 1875, Sess. extraor., p. LIII. Ce fait avait déjà été signalé en 1822 par Weihe et Hees dans les « *Rubi germanici* », pour les *Rubus cordifolius* et *rhamnifolius* ; il a été confirmé par M. Lefèvre (*Bull. de la Soc. Bot. de France*, 1877, t. XXIV, p. 366) pour les *Rubus discolor*, *casius*, etc.

trémité ; les cellules de ce tissu sont plus petites que dans la partie aérienne. La figure 2 représente la structure du milieu du tubercule.

Dans les tubercules plus âgés, mais toujours de l'année, il existe au centre un noyau très dur, fortement lignifié, constitué par les faisceaux du bois, les énormes rayons médullaires et la moelle. Ce noyau se trouve entouré d'un tissu mou formé par le liber et le parenchyme cortical au milieu duquel quelques fibres libériennes isolées sont encore visibles. Le parenchyme cortical est envahi par une matière brunâtre jusqu'aux assises de la couche de liège, l'écorce est même exfoliée en certains points.

Enfin, quand on examine les tubercules très vieux, courts, trapus, épais, bosselés, de couleur brun rougeâtre, qui ont émis plusieurs branches de générations différentes (pl. I, fig. 8), on voit que l'écorce primaire entière a été exfoliée ainsi que presque tout le liber. Cette masse dure est formée d'énormes faisceaux du bois, reliés par de larges rayons médullaires entourant une moelle réduite et lignifiée comme tous les autres tissus.

Cette structure est absolument différente de celle de la partie aérienne (fig. 1) ; les principaux caractères différentiels de la partie souterraine sont les suivants :

- 1° Le parenchyme cortical est plus développé ;
- 2° L'exfoliation de l'écorce est accélérée par le grand développement de l'assise subéreuse ;
- 3° Les fibres libériennes sont très réduites ;
- 4° Le liber mou et les faisceaux du bois sont très développés ;
- 5° La lignification de la moelle est plus intense.

2° *Comparaison du tubercule et de la tige maintenue sous terre.* — Voulant savoir comment une tige de cette plante est modifiée par le milieu seul, j'ai empêché la jeune pousse qui part du tubercule de sortir du sol, en accumulant peu à peu la terre au-dessus d'elle à mesure qu'elle se développait.

L'expérience a été continuée pendant six mois. Au mois de juin, j'ai étudié la plante développée sous terre; sa longueur était à peu près d'un décimètre, et onze entre-nœuds s'étaient formés; extérieurement l'épiderme était complètement blanc. La comparaison de cette tige avec un tubercule permet de trouver entre ces deux régions de très grandes différences.

Au cinquième entre-nœud à partir du sommet, on voit que, dans la partie enterrée, le parenchyme cortical est très développé; l'endoderme, qui n'est pas encore divisé, a des ponctuations nettes (pl. I, fig. 5, *end*); les fibres libériennes n'existent pas et les faisceaux ligneux sont très peu développés; enfin la moelle ne se lignifie pas. Au septième entre-nœud, on voit apparaître nettement dans l'endoderme les divisions qui indiquent l'origine de la couche subéreuse (fig. 6, *end* et *as*). Enfin, au dixième entre-nœud, presque au point où commence le tubercule, les fibres n'existent encore qu'en petit nombre, mais la moelle reste non lignifiée.

On voit que les différences sont nettes entre cette tige enterrée et le tubercule. Dans ce dernier, le cambium, avec une activité extraordinaire, accroît tout de suite énormément le faisceau du bois pendant que la moelle se lignifie très rapidement. Il existe bien à l'extrémité du tubercule une partie où la moelle n'est pas encore lignifiée et qu'on pourrait comparer à la tige maintenue enterrée; mais, même dans cette partie (fig. 3), le cambium a déjà donné aux faisceaux un accroissement énorme qui n'est jamais atteint dans la partie maintenue sous terre. Si l'on fait une série de coupes à partir de l'extrémité du bourgeon, le passage de cette dernière structure à celle du tubercule se fait très rapidement, les faisceaux du tubercule continuent à se développer beaucoup et la lignification envahit toute la moelle et les rayons médullaires.

En résumé, les caractères différentiels de la partie maintenue sous le sol par rapport au tubercule sont donc :

- 1° La réduction des faisceaux libéro-ligneux ;
- 2° L'absence de toute lignification dans la moelle.

Il faut même ajouter que le tubercule peut commencer à se

former sans que la tige aérienne s'enfonce dans le sol ; en effet, on voit souvent se produire, à une certaine distance au-dessus de la terre, un commencement de développement d'un tubercule blanchâtre, muni d'écailles et de racines adventives. Germain de Saint-Pierre avait fait autrefois une observation analogue, qui montre bien qu'il se forme à l'extrémité des branches un organe particulier. Il dit même avoir vu, dans les endroits sombres et humides, les tiges pendantes de Ronce grossir en massue longtemps avant d'avoir touché le sol.

Par l'ensemble des comparaisons et des expériences qui précèdent, on peut maintenant déterminer les différences de structure qui sont directement sous l'influence du milieu et celles qui sont morphologiquement héréditaires. C'est ainsi que le développement du parenchyme cortical et la réduction des fibres libériennes sont dus à l'influence du milieu, tandis que le grand développement des faisceaux du tubercule et la lignification de sa moelle en sont indépendants.

L'étude détaillée qu'on vient de faire d'un exemple particulier montre que si l'on veut arriver à retrouver dans les tiges souterraines l'action du sol au milieu de tant d'autres causes, il faut chercher l'effet de cette action sur des plantes où l'on ne devra tenir compte que de cette seule variable.

Je prendrai donc des plantes pour lesquelles l'hérédité morphologique n'intervient pas dans les comparaisons. Pour chaque espèce, je ferai pousser des tiges, les unes dans l'air, les autres sous terre, toutes les autres conditions restant les mêmes.

PARTIE EXPÉRIMENTALE

Dans cette partie de mon travail, je me suis proposé d'exposer quelles modifications peuvent se produire immédiatement dans la structure des plantes lorsque, par l'expérience, on fait développer sous le sol leurs parties aériennes. Je réserve donc l'étude des tiges souterraines naturelles pour la troisième partie de ce mémoire.

Parmi les causes produisant l'arrêt de développement des plantes enterrées, l'absence de lumière est une des plus importantes. Je n'ai pu me proposer de démêler, pour tous les cas étudiés, au milieu des différences que j'ai trouvées, celles spécialement dues à l'obscurité. La solution générale d'un problème aussi complexe m'aurait entraîné trop loin de la question que je me proposais de résoudre. J'ai cherché simplement, par quelques exemples, à montrer qu'il existait des différences importantes entre la structure de tiges, appartenant à la même espèce, développées les unes à l'air et à l'obscurité, les autres sous terre. Les différences observées sont presque aussi grandes entre la tige étiolée et la tige développée sous le sol qu'entre celle-ci et la tige développée à la lumière.

J'exposerai donc d'abord les résultats de mes recherches comparatives sur les plantes artificiellement enterrées et sur les mêmes espèces poussant à la lumière. Je comparerai ensuite les tiges étiolées et les tiges rendues souterraines.

I. — TIGES AÉRIENNES ET TIGES RENDUES SOUTERRAINES.

Ces recherches ont porté sur un certain nombre de plantes appartenant aux familles les plus diverses : Papilionacées, Rosacées, Cucurbitacées, Araliacées, Euphorbiacées, Solanées, Labiées, Nyctaginées et Tropéolées.

J'ai choisi, pour étudier chaque modification, l'espèce où elle se présente le plus nettement, en exposant ensuite les diverses variations de structure trouvées dans les autres plantes.

1° *Modifications de l'épiderme*. — J'ai fait germer un certain nombre de graines de Fève (*Faba vulgaris*) en laissant les unes se développer librement à l'air, et en enterrant les autres. Au bout de trois semaines, le simple aspect extérieur faisait présager entre les deux séries de plantes les différences de leur structure interne. En effet, les tiges aériennes étaient fines, élancées, anguleuses et vertes, avec des feuilles bien développées. La tige enterrée, au contraire, était boursouflée en même temps qu'écrasée latéralement; à sa base se trouvait une région brunâtre, comme terreuse; le reste de la tige était blanc et portait à sa partie supérieure des feuilles jaunâtres peu développées (pl. II, fig. 9 et 10). Si l'on fait une section transversale de la partie souterraine à la hauteur de la région brunâtre et dans la tige aérienne à une hauteur morphologiquement correspondante (1), on trouve dans l'épiderme des différences importantes et curieuses. Il s'est produit au milieu de la paroi externe de chaque cellule épidermique souterraine une saillie conique dont la forme rappelle celle des poils radicaux. Ces saillies se sont allongées vers l'extérieur, mais leur allongement reste faible. La paroi de ces cellules a bruni à leur périphérie, elles se sont subérifiées, c'est ce qui donne à cette région sa coloration (pl. II, fig. 11 et 12, *ep*).

— On retrouve dans la Courge (*Cucurbita Pepo*) une production analogue, mais moins développée; les cellules de l'épiderme de la tige souterraine prennent une forme conique et même, en quelques endroits, se prolongent en de véritables poils.

Le plus souvent l'épiderme garde sa disposition régulière. Mais, dans tous les cas observés, il se produit dans la portion

(1) D'une manière générale, je prendrai pour régions comparables, celles qui sont séparées du sommet par le même nombre d'entre-nœuds.

externe de la membrane de ces cellules une matière d'un brun rougeâtre. Cette substance envahit quelquefois les parois latérales et internes des cellules épidermiques ; elle peut même apparaître, en certains points, dans l'assise sous-jacente (*Solanum tuberosum*).

En somme, dans la partie externe de l'épiderme aérien, la cuticule forme une couche épaisse qui se colore en rouge par la fuchsine ; dans l'épiderme souterrain, la subérine envahit toute la paroi externe et même souvent les parois latérales et internes, aussi la fuchsine colore-t-elle toute la membrane.

Les stomates subsistent sur la tige enterrée, mais leur nombre est moins grand pour une même surface, ce qui tient à l'allongement des cellules de l'épiderme dans le sens longitudinal ; dans la Capucine (*Tropaeolum majus*), par exemple, les cellules de l'épiderme de la tige souterraine atteignent une longueur de 180 divisions micrométriques (1), tandis que dans les tiges aériennes elles n'en ont que 80. Les cellules stomatiques sont également étirées ; la longueur d'un stomate sur la tige enterrée est de 25 divisions et de 14 seulement sur la tige aérienne.

Ainsi, en général, *les parois des cellules épidermiques se subérifient plus ou moins complètement dans la partie enterrée.*

2° *Extension du parenchyme cortical.* — Dans la Fève, pendant que l'épiderme se modifie d'une façon si spéciale, l'écorce prend un développement tout à fait exagéré, comme le montre la comparaison des deux figures 11 et 12 (pl. II), faites au même grossissement. On voit que, non seulement les cellules sont plus grosses dans la partie souterraine, mais aussi qu'elles sont plus nombreuses. Le séjour sous terre a donc modifié complètement l'équilibre vital des cellules de l'écorce et de l'épiderme. Les cellules de l'épiderme se sont transformées en des espèces de poils, celles du parenchyme cortical, ici sans

(1) Les longueurs relatives étant seules à considérer dans ce travail, je prends simplement pour unité de longueur une division de mon micromètre.

chlorophylle, se sont rapidement multipliées et ont augmenté considérablement de volume. On conçoit que dans ces plantes enterrées, qui sont soustraites au contact de l'air libre et de la lumière, la transpiration soit considérablement ralentie. Il est vraisemblable que c'est surtout à cette cause qu'il faut attribuer l'augmentation de volume des cellules.

— En faisant pousser sous terre les tiges aériennes de *Solanum tuberosum* (pl. III, fig. 27 et 28), on remarque que les cellules corticales de la partie souterraine se sont allongées dans le sens radial, mais leur nombre s'est peu accru. Dans l'*Aralia pentaphylla*, le parenchyme cortical de la partie aérienne présente dans son épaisseur des différences considérables suivant la profondeur. Ainsi, dans la partie enterrée le plus profondément, l'écorce a une épaisseur de 80 à 90 divisions micrométriques; dans la partie de la tige voisine de la surface, l'accroissement du parenchyme cortical a été bien moindre, l'épaisseur n'est que de 50 à 60 divisions. J'ai étudié également à ce point de vue le Pois chiche (*Cicer arietinum*) entre-nœud par entre-nœud; j'ai toujours constaté le plus grand développement de l'écorce dans la partie enterrée. Voici d'ailleurs un tableau résumant toutes ces recherches :

NOMS DES ESPÈCES	ÉPAISSEUR MOYENNE DU PARENCHYME CORTICAL.	
	Tige aérienne.	Tige souterraine.
<i>Aralia pentaphylla</i>	25	70 { 50 90
<i>Cicer arietinum</i>	4	23
<i>Cucurbita Pepo</i>	65	70
<i>Faba vulgaris</i>	7	65
<i>Lupinus albus</i>	48	60
<i>Mirabilis Jalapa</i>	90	120
<i>Ricinus communis</i>	45	58
<i>Rubus fruticosus</i>	10	25
<i>Solanum tuberosum</i>	32	52
<i>Teucrium Scorodonia</i>	5	9
<i>Tropæolum majus</i>	18	26

Donc, *le parenchyme cortical augmente toujours d'épaisseur dans la partie rendue souterraine.*

3^e *Développement du suber.* — J'ai eu l'occasion d'étudier des marcottes de l'*Aralia pentaphylla* qui avaient été faites dans les pépinières du Muséum. Comme la tige de cette plante avait été maintenue plus longtemps sous terre que dans les autres cas, j'ai pu avoir une démonstration nette de l'influence du milieu, car, dans la partie plus jeune enterrée, il apparaît un tissu subéreux très important qui n'existe pas dans la partie aérienne.

L'aspect extérieur indique déjà des différences nettes. La couleur de la tige n'est pas la même dans les deux régions : dans la partie aérienne, elle est rouge brunâtre et dans la partie enterrée elle est blanche. On retrouve dans la couche subéreuse une inégalité d'épaisseur suivant la profondeur, qui correspond à l'inégalité de développement de l'écorce de cette même plante. D'abord, dans la portion la plus voisine de la surface du sol, la couche subéreuse est peu développée; elle naît dans l'épiderme et est constituée par quatre ou cinq assises de cellules empilées (pl. II, fig. 14, *as*). En d'autres points, plus enfoncés dans le sol, il existe, en outre, une seconde couche subéreuse formée par la division des cellules de l'assise la plus externe du parenchyme cortical. En effet, les cellules qui ont produit cette nouvelle couche de suber alternaient avec les cellules épidermiques. Dans la tige aérienne, il n'y a rien d'analogue; il existe seulement une couche cuticulaire se colérant par la fuchsine dans la portion externe de la membrane des cellules épidermiques (pl. II, fig. 13, *p*). Il est important de remarquer que, dans cet exemple, c'est la partie la plus jeune qui se différencie le plus, ce qui démontre que c'est le changement de milieu et non pas l'âge qui a modifié la structure de la tige.

Donc, en résumé, cet exemple très net fait voir que la *cuticule protectrice de la partie aérienne est devenue insuffisante, qu'elle a été remplacée par une couche subéreuse puissante.*

Cette couche, par le renouvellement constant des cellules plus internes, remédie à l'exfoliation constante des cellules les plus externes exposées à être écrasées dans la marche lente de la partie souterraine à travers le sol.

4° *Disparition du collenchyme.* — On vient de montrer qu'en rendant une tige souterraine, on fait apparaître un tissu nouveau; on va voir maintenant, au contraire, que, dans les mêmes circonstances, un autre tissu peut disparaître. J'ai constaté, en effet, la disparition complète du collenchyme dans une tige enterrée de *Solanum tuberosum*.

Une Pomme de terre ayant commencé à germer en produisant deux rameaux aériens semblables, je l'enterrai. Je recouvris un rameau de terre et je laissai l'autre aérien. J'avais donc, dans cette expérience, deux tiges aussi comparables que possible, puisqu'elles faisaient partie du même individu. On constatait à la fin de l'expérience les différences extérieures suivantes :

TIGE AÉRIENNE.	TIGE ENTERRÉE.
1° Il n'y a pas de racines adventives.	1° Il se développe des racines adventives (je reviendrai sur leur situation).
2° Les feuilles prennent un grand développement (pl. II, fig. 26).	2° Les feuilles tendent à s'atrophier (pl. II, fig. 24 et 25).
3° La branche qui naît à l'aisselle de chaque feuille est très réduite par rapport à la feuille (pl. II, fig. 26, <i>p</i>).	3° La branche suit un développement inverse de la feuille à l'aisselle de laquelle elle naît; elle s'allonge beaucoup et se renfle à son extrémité (pl. II, fig. 25 et fig. 26, <i>p</i> et <i>l</i>).

Tels sont, comparés d'une manière précise, les faits connus qui se produisent dans la tige enterrée. Ils montrent que, chez cette plante, n'importe quelle tige peut donner des rameaux se renflant en tubercule vers leur extrémité ou se transformer en une tige aérienne et feuillée.

L'anatomie comparée des deux tiges montre également de

très grandes différences. Il existe dans la tige aérienne un tissu collenchymateux (pl. III, fig. 27, *col*) très important, formant un anneau puissant dans le parenchyme cortical. Ce tissu manque absolument dans la tige rendue souterraine (pl. III, fig. 28). Or, quel est le rôle attribué au collenchyme par les botanistes? On a vu précédemment (1) que M. Falkenberg et M. Schwendener regardent le collenchyme comme intermédiaire entre le tissu fondamental et le tissu mécanique, c'est-à-dire comme formant un tissu de soutien peu développé. Selon M. Giltay (2), cette cuirasse que le tissu collenchymateux forme autour de la tige n'aurait pas seulement un rôle de soutien, elle serait aussi destinée à modérer la transpiration (3). Ainsi que je l'ai fait remarquer plus haut, la transpiration s'effectue plus difficilement dans les parties souterraines; la diminution du nombre des stomates, démontrée par M. Hohnfeld (4), et même leur disparition fréquente, peuvent être regardées comme des raisons en faveur de cette opinion. Si donc le collenchyme doit remplir le rôle que lui attribue M. Giltay, il doit se réduire et même disparaître dans les parties souterraines où la transpiration n'a pas besoin d'être modérée. Si on le considère, avec M. Schwendener, comme jouant surtout le rôle de soutien, il doit aussi disparaître dans un organe qui n'a pas besoin d'être soutenu. En effet, ainsi qu'on vient de le voir, le collenchyme ne se forme plus dans les parties enterrées, et cela peut s'expliquer par ces deux raisons.

— Dans l'*Aralia pentaphylla*, on constate également la disparition du collenchyme dans la partie souterraine; mais, pour ce tissu encore, on trouve, comme pour les autres appareils, le développement inégal qu'on a déjà signalé en étudiant le

(1) *Loc. cit.*

(2) *Einiges über das Collenchym* (Quelques remarques sur le collenchyme) (*Botanische Zeitung*, 1881, n° 10).

(3) Elle modère seulement la transpiration, car cette enveloppe est interrompue en un certain nombre de points où les cellules gardent la minceur de leurs parois et par lesquels s'établit la communication entre les stomates et le tissu chlorophyllien interne.

(4) *Loc. cit.*

développement de l'écorce et la production de la couche subéreuse (1). Dans la moitié de la tige où l'écorce est peu épaisse et le suber peu développé, on trouve encore du tissu collenchymateux (pl. II, fig. 14, *col*); la figure 14 représente cette région qui est, pour ainsi dire, intermédiaire entre la partie aérienne et la partie profondément enterrée. Au contraire, dans la moitié plus enfoncée dans le sol de la marcotte, le collenchyme a complètement disparu. C'est donc bien encore là un exemple de cette influence du milieu souterrain.

Les exemples de la disparition de ce tissu sont toujours nets. Il manque complètement dans la Courge enterrée, tandis qu'un anneau de collenchyme, formé de quatre ou cinq assises de cellules, existe sous l'épiderme de la tige aérienne de cette même plante; mais on ne voit pas, aux angles des cellules de ce tissu, des épaississements aussi forts que dans la tige de Pomme de terre. J'ai constaté les mêmes faits dans le Pois chiche. Les Labiées présentent quelque chose de particulier; la tige aérienne étant quadrangulaire, c'est aux angles que le collenchyme est très développé. J'ai recouvert de terre une tige aérienne de *Teucrium Scorodonia*; au bout de six mois, le tissu collenchymateux a totalement disparu de l'écorce. Il est difficile d'admettre, dans le cas des Labiées, que le collenchyme des angles soit un appareil modérateur de la transpiration puisqu'il ne s'étend pas sur les pans de la tige. C'est plutôt dans ces plantes un appareil de soutien, qui correspond à un faible développement du système d'affermissement du cylindre central.

En résumé, *le collenchyme diminue ou disparaît dans la partie souterraine.*

5^e *Modification de l'endoderme.* — Dans une expérience faite sur le Pois chiche, j'ai comparé, entre-nœud par entre-nœud, les modifications qui se produisent dans l'endoderme. Cette assise tend à devenir méconnaissable en vieillissant. Dès le deuxième entre-nœud à partir du sommet, des cristaux com-

1) Voy. plus haut, p. 30.

6^e série, Bot. T. XVI (Cahier n° 1.) ³

mencent à apparaître dans l'endoderme de la partie aérienne et les plissements n'y sont plus distincts. A cette même hauteur, dans la tige souterraine, les cristaux n'existent pas et les ponctuations ordinaires de cette assise sont très nettes. Cette différence de structure se maintient à travers les entrenœuds suivants. Cependant, au cinquième entre-nœud, dans la partie aérienne, on voit l'endoderme nettement divisé en deux cellules (pl. III, fig. 31, *end*); cette division se produit seulement à l'endroit où les fibres libériennes font saillie dans l'écorce et les cristaux se déposent uniquement dans les cellules de l'assise interne qui ont leurs parois subérifiées. Ainsi l'endoderme de la tige aérienne est déjà complètement transformé. Dans la tige enterrée, il reste encore visible avec ses plissements jusqu'au huitième entre-nœud; ainsi la figure 32 (pl. III, *end*) représente le cinquième entre-nœud de la tige souterraine: au neuvième entre-nœud, on voit enfin apparaître les cristaux dans cette assise et les ponctuations disparaissent. On voit donc que l'endoderme présente à l'origine de son développement des plissements qui disparaissent plus tard; par le séjour de la tige en terre, cette assise est retardée dans son évolution.

— J'ai retrouvé des différences analogues dans la Courge et le Ricin. Dans une tige aérienne de Courge, l'endoderme, qui est séparé des fibres libériennes par plusieurs assises de parenchyme, est formé de grandes cellules sur les faces latérales desquelles on ne voit pas de plissements (pl. IV, *end*, fig. 35). Dans la tige de Courge rendue souterraine, elles existent très nettement (pl. IV, fig. 36, *d*). Comme, dans le Ricin, un seul entre-nœud était développé, j'ai comparé, dans les deux tiges de cette plante, des coupes passant par le milieu du premier entre-nœud. Dans la partie aérienne, les ponctuations de l'endoderme ne sont pas visibles (pl. V, fig. 48, *end*); on n'y trouve plus l'amidon qui se localise, pour cette assise, dans les parties jeunes. Au même niveau, dans la tige développée sous le sol, j'ai trouvé un endoderme très nettement caractérisé par ses plissements (pl. V, fig. 49, *end*). Il est à remarquer que

c'est, en général, en face des faisceaux primaires, là où le corps central fait une saillie dans l'écorce, qu'on voit d'abord disparaître les plissements de l'endoderme. La figure 27 (pl. III, *end*) montre cette disparition en *a* dans le *Solanum tuberosum*; en face du faisceau de la partie souterraine, on ne distingue point ce changement (fig. 28, *end*).

Ce dernier exemple, dans lequel les punctuations endodermiques n'ont disparu qu'en partie dans la tige aérienne, peut servir de transition pour passer au cas où elles subsistent complètement dans la tige aérienne et la tige enterrée. Dans le *Mirabilis Jalapa* (pl. IV, fig. 46 et fig. 47, *end*) et le *Lupinus albus* (pl. IV, fig. 42 et fig. 43, *end*), le retard constaté précédemment dans le développement de l'endoderme de la tige souterraine sur celui de la tige aérienne n'est pas sensible.

On voit donc, en somme, que souvent l'endoderme d'une tige aérienne a une évolution plus rapide que l'endoderme d'une tige souterraine et que *les plissements de l'endoderme persistent moins longtemps dans la tige aérienne*.

6° *Réduction des fibres libériennes*. — En comparant l'allongement de Courges les unes aériennes, les autres enterrées, j'ai trouvé une longueur moyenne de 13^{cm},4 pour les premières, tandis que les tiges maintenues sous le sol avaient atteint 19 centimètres, en moyenne. Malgré la longueur plus grande de la tige souterraine, il y a un retard dans le développement d'un certain nombre de tissus. On a déjà vu que le collenchyme manque dans la tige enterrée; les fibres libériennes y disparaissent également (pl. IV, fig. 36). Dans la partie aérienne, ces fibres forment un groupe assez important (fig. 35, *fl*); elles sont très allongées longitudinalement, présentent des punctuations tournantes (fig. 38, *fl*) et jaunissent très fortement par le sulfate d'aniline: elles sont donc lignifiées.

— Dans le Ricin, la disparition est aussi complète (pl. V, fig. 48, et fig. 49, *fl*), dans la Ronce également (pl. I, fig. 4 et 5). L'*Aralia pentaphylla* présente les mêmes faits (comparez les fig. 13 et 14, pl. II). Quand il n'y a pas disparition totale,

il y a toujours réduction des fibres libériennes. Dans le Lupin, par exemple, on voit que, dans la partie aérienne (pl. IV, fig. 42, *fl*), les fibres libériennes forment un arc complet en face des faisceaux du bois (1). La figure 43 (pl. IV, *fl*) montre que, dans la tige souterraine, l'arc de fibres a une épaisseur bien moindre, et que, de plus, il se divise en plusieurs parties. Le Pois chiche présente une organisation semblable; les fibres apparaissent d'abord dans la tige aérienne; dès le quatrième entre-nœud, elles existent dans la tige souterraine, mais elles sont et restent toujours bien plus développées et plus nombreuses dans la partie aérienne (pl. III, fig. 31 et 32, *fl*). On peut remarquer que, dans ce cas, ces fibres atteignent l'endoderme sans laisser de couche entre elles et cette assise; on peut dire, dans ce cas, que l'assise périphérique a participé, comme cela arrive souvent, à leur formation.

Ainsi donc, sans exception, *les fibres libériennes diminuent ou même disparaissent dans la partie expérimentalement enterrée*. On a déjà vu précédemment que le collenchyme, qui est, en certains cas, nettement un tissu d'affermissement, disparaît dans les tiges souterraines; ici l'on voit un appareil, qui paraît être, avec plus de raison encore, destiné à soutenir la plante, diminuer ou même manquer entièrement dans une partie qui n'a pas besoin d'être soutenue; ce qui justifie par cela même sa fonction.

7° Modification du liber mou et de la couche génératrice libéro-ligneuse. — Dans la tige aérienne de Courge, ainsi qu'on l'a déjà vu, il existe du parenchyme libérien en dehors des fibres libériennes. Les tubes criblés sont nombreux dans le liber (pl. IV, fig. 38) et leur diamètre transversal est assez grand relativement à leur longueur; on distingue dans ce tissu libérien des séries longitudinales de cellules allongées, à paroi transversale horizontale, dont le contenu est extrêmement dense et granuleux (fig. 38, *a*) : elles existent surtout dans le

(1) Il est à remarquer que ces fibres n'envahissent pas une assise existant à la périphérie du cylindre central et comparable à l'assise périphérique des racines.

voisinage des tubes criblés. Dans la tige développée sous le sol (fig. 39), on ne rencontre pas les larges tubes criblés de la tige aérienne, ces tubes ont un plus faible diamètre; les fibres libériennes n'existent pas, mais on remarque des cellules à parois minces, très allongées dans le sens longitudinal, qui présentent des cloisons transverses obliques; enfin, on ne retrouve plus ici les files de cellules à contenu granuleux qui sont si nombreuses dans la tige aérienne. En même temps que le liber change d'aspect, la couche génératrice de la partie souterraine perd son importance (comp. fig. 35 et fig. 36). Il existe dans la tige aérienne, en outre d'une couche génératrice libéro-ligneuse externe très développée, une couche génératrice peu active située entre le bois et le liber interne; cette couche génératrice ne semble se multiplier que du côté de ce dernier tissu et ne produit point de bois vers l'extérieur. Une telle couche génératrice interne n'existe pas dans la tige souterraine.

Ainsi donc, dans la Courge aérienne, il y a deux couches génératrices: l'une, très puissante, libéro-ligneuse et externe; l'autre, à l'intérieur du bois et seulement libérienne; dans la Courge développée sous le sol, une couche génératrice externe seule est à peine ébauchée.

On observe également dans le Ricin des différences entre les tissus libériens des deux tiges aérienne et souterraine. Les éléments parenchymateux sont beaucoup plus importants dans la partie aérienne et les tubes criblés sont plus courts; l'allongement de ces tubes est en rapport avec l'allongement très important de la tige souterraine (pl. V, fig. 53 et 54). Mais la différence principale, qu'on remarque entre ces deux tiges, c'est le grand développement de la couche génératrice libéro-ligneuse de la tige aérienne. Cette couche, dans la partie souterraine, n'est pas bien distincte entre le bois et le liber et n'existe pas entre les faisceaux; dans la tige aérienne, elle est assez irrégulière dans le faisceau libéro-ligneux, mais cependant parfaitement reconnaissable; elle devient très nette et très régulière entre les faisceaux (comp. fig. 48 et fig. 49).

Le retard dans le développement de la couche génératrice des tiges souterraines se vérifie partout, dans le Pois chiche (pl. III, fig. 31 et fig. 32) où elle manque entre les faisceaux, dans le Lupin (pl. IV, fig. 42 et 43), dans les tiges de Pomme de terre (pl. III, fig. 29 et fig. 30). La comparaison des figures permet de voir, dans cette dernière plante, que le liber mou est formé d'un nombre bien plus considérable de cellules dans la tige aérienne que dans la tige souterraine, mais ces cellules sont bien plus grandes dans cette dernière.

En résumé, on voit que *le séjour sous terre retarde le développement des couches génératrices cambiales, qu'elles soient externes ou internes.*

8° *Modifications du bois.* — Puisque la couche génératrice libéro-ligneuse est arrêtée dans son développement chez les tiges enterrées, on doit y trouver un moindre développement dans les éléments ligneux. Le simple examen de deux faisceaux du Ricin (pl. V, fig. 48 et 49) permet de s'en convaincre immédiatement. Il existe, dans la tige aérienne, un certain nombre de vaisseaux non lignifiés indiquant l'activité de la couche génératrice; ces vaisseaux ne se retrouvent qu'en petit nombre dans la tige souterraine. La section longitudinale met ce fait en évidence (1) et permet de constater, en outre, un développement relatif plus grand du faisceau de la partie aérienne ainsi que l'existence de parenchyme ligneux entre les faisceaux (fig. 55 et 56).

— La Courge présente des faits analogues; la section transversale montre l'existence de très grands vaisseaux (pl. IV, fig. 35) environnés de parenchyme ligneux dans la partie aérienne; la figure 40 représente ces énormes vaisseaux en section longitudinale. La tige souterraine offre un développement bien moindre (fig. 36 et fig. 41).

Dans les tiges de Pomme de terre, on distingue deux sortes

(1) On voit que le protoplasma se groupe dans les cellules non encore transformées en vaisseaux aux endroits où la membrane s'épaissit, comme M. Strasbürger le figure dans son nouveau mémoire (*Wachsthum und Bau der Zellhäute*. Iéna, 1882).

de faisceaux libéro-ligneux : les premiers formés sont au nombre de trois et ont pris un très grand développement ; les seconds existent entre les précédents et ont une importance bien moindre. Les modifications se produisent dans le même sens dans les deux sortes de faisceaux. Les grands faisceaux de la tige aérienne (pl. III, fig. 29) sont moins étalés que ceux de la tige souterraine (fig. 30) ; les vaisseaux de la première tige sont moins larges, mais bien plus nombreux. Des arcs de parenchyme ligneux relient ces grands faisceaux aux petits dans la tige aérienne (fig. 27), tandis que la tige souterraine ne présente rien de semblable (fig. 28).

Lorsqu'on coupe les parties aérienne et souterraine de l'*Aralia pentaphylla*, on constate deux aspects très différents. Au milieu du tissu verdâtre de la partie aérienne, il existe un anneau ligneux épais entourant une moelle réduite. La moelle, dans la portion souterraine, est considérable, blanche et spongieuse comme tout le tissu cortical ; cette moelle est bordée, en outre, par un cordon ligneux bien moins épais que dans la tige aérienne. Lorsqu'on examine la structure du bois de la partie développée en terre, on trouve que l'anneau présente deux sortes de faisceaux. Les uns, qui proéminent dans la moelle, sont les faisceaux primaires ; leurs vaisseaux annelés et spiralés sont entourés d'un tissu non lignifié (pl. II, fig. 16, *p*), ce dernier tissu étant bordé du côté de la moelle par un arc de fibres. Les autres faisceaux ne font pas saillie dans le tissu médullaire, et ne présentent pas de tissu non lignifié à leur extrémité interne. Entre ces faisceaux de deux sortes, il existe des rayons médullaires formés par deux plans de cellules aplaties dans le sens radial (fig. 16, *rm*). Dans la tige aérienne (fig. 15), on distingue bien encore les faisceaux de deux espèces, mais le parenchyme de la pointe des faisceaux a disparu et les trachées sont entourées de cellules lignifiées à parois épaisses (fig. 15, *a*) ; dans ces faisceaux, on constate que les fibres ligneuses (*f*) sont bien plus nombreuses et que les cavités des cellules sont moins grandes en moyenne ; cette dernière différence est surtout manifeste dans les cellules des

rayons médullaires (*rm*) qui sont, en outre, très allongées dans le sens radial. La lignification est donc moins avancée dans la région souterraine et l'épaisseur de l'anneau ligneux y est de 40 divisions micrométriques au lieu de 50 qu'on trouve dans la partie aérienne.

Dans le Pois chiche (pl. III, fig. 31 et 32), dans le *Pisum sativum*, la Capucine, la Ronce (pl. I, fig. 4 et 5), le Lupin (pl. IV, fig. 42 et 43) on constate toujours la diminution du tissu ligneux dans la partie souterraine.

Le *Mirabilis Jalapa* (pl. IV, fig. 46 et 47) semble, au premier aspect, présenter un développement à peu près semblable dans les deux tiges. J'ai répété deux fois l'expérience avec cette plante : la première a duré du 8 au 30 juin, la seconde du 8 juin au 11 juillet. Ces expériences n'ayant été faites que pendant un temps relativement court, je n'ai observé que les modifications qui se produisent dès le début. Les différences sont cependant nettes. Si l'on compte, dans plusieurs coupes, le nombre des vaisseaux formés et lignifiés d'un faisceau, on trouve les nombres suivants :

	NOMBRE DES VAISSEAUX D'UN FAISCEAU DE LA TIGE AÉRIENNE.			NOMBRE DES VAISSEAUX D'UN FAISCEAU DE LA TIGE DÉVELOPPÉE SOUS LE SOL.		
1 ^{re} expérience.	11	22	22	9	10	11
	12	14	12	8	10	9
	12	15	13	11	9	8
			16			11
	Moyenne : 14,9			Moyenne : 9,6		
2 ^e expérience.	18	22	20	13	15	12
	20	29	20	12	13	13
	28	23		12	14	
	Moyenne : 22,5			Moyenne : 13,2		

Dans les deux cas, aussi bien dans la première que dans la deuxième expérience où les tiges sont plus vieilles de onze jours, le résultat est donc le même; les vaisseaux formés sont plus nombreux dans la tige aérienne.

On peut donc dire, en général, que, *toutes les autres conditions étant les mêmes, le développement du bois est toujours moins grand dans la partie enterrée que dans la partie aérienne.*

9° *Changement dans le rapport de la moelle à l'écorce.* — M. Rauwenhoff (1) a montré, que la moelle et l'écorce se développent beaucoup dans les tiges des plantes étiolées. Assez souvent les plantes qui croissent sous le sol présentent un grand développement de ces deux parties. Cependant, tandis que dans le parenchyme cortical cet accroissement est général, il n'en est pas de même de la moelle. Comparons le rapport des épaisseurs de la moelle et de l'écorce. Voici les résultats obtenus pour quelques espèces :

NOMS DES ESPÈCES MISES EN EXPÉRIENCE.	TIGE AÉRIENNE.			TIGE SOUTERRAINE.		
	ÉPAISSEUR		RAPPORT de la moelle à l'écorce.	ÉPAISSEUR		RAPPORT de la moelle à l'écorce.
	de l'écorce.	de la moelle.		de l'écorce.	de la moelle.	
<i>Aralia pentaphylla</i> (partie profonde).....	25	110	4,4	90	280	3,1
<i>Cicer arietinum</i>	4	34	8,5	23	47	2
<i>Cucurbita Pepo</i>	65	392	6	70	216	3
<i>Faba vulgaris</i>	7	85	12,1	65	130	2
<i>Lupinus albus</i>	48	45	0,94	60	35	0,5
<i>Mirabilis Jalapa</i>	90	85	0,94	120	70	0,5
<i>Ricinus communis</i>	45	185	4,1	58	174	3
<i>Rubus fruticosus</i>	10	145	14,5	25	120	4,08
<i>Solanum tuberosum</i>	32	208	6	52	192	3
<i>Teucrium Scorodonia</i> ..	5	60	12	9	54	6
<i>Tropæolum majus</i>	18	120	6,6	26	125	4,8

(1) *Loc. cit.*

Ainsi le fait général, auquel jusqu'ici je n'ai pas trouvé d'exception, c'est que *le rapport de l'épaisseur de la moelle à celle de l'écorce est plus grand dans les tiges aériennes que dans les tiges enterrées.*

Le tableau précédent montre bien, en effet, que l'épaisseur de la moelle est quelquefois plus faible dans la tige souterraine (Lupin, *Mirabilis*, Ronce), mais le rapport de la moelle à l'écorce est toujours plus grand dans la tige aérienne que dans la tige enterrée.

10° *Production d'amidon dans la partie souterraine.* — La section de la tige aérienne de l'*Aralia pentaphylla* offre un aspect verdâtre, car la chlorophylle existe en assez grande abondance dans le parenchyme cortical, ainsi qu'à la périphérie de la moelle. Dans la partie souterraine, les tissus sont blanchâtres et la chlorophylle n'y existe pas; on y trouve une grande quantité d'amidon, tandis qu'il n'y en a pas dans la partie aérienne. L'amidon existe surtout dans les tissus du centre de la tige : la moelle, les rayons médullaires, le parenchyme ligneux, le liber; cette substance manque cependant dans la couche génératrice; il existe aussi de l'amidon, mais en moins grande abondance, disséminé dans le parenchyme cortical.

Ainsi donc, pour cet exemple, *on voit qu'il s'accumule dans la partie souterraine une grande quantité d'amidon.* On verra quelle est la généralité de ce fait en étudiant les rhizomes.

II. — TIGES RENDUES SOUTERRAINES ET TIGES ÉTIOLÉES.

Je me propose simplement, dans ce chapitre, de faire voir, par quelques exemples, que les tiges développées à l'obscurité et les tiges souterraines présentent des différences de structure importantes, et que l'absence de lumière n'est pas la seule cause des grandes modifications que l'on observe chez les plantes vivant sous le sol.

Je vais étudier successivement, dans ce but, trois espèces

appartenant à des familles très différentes : la Pomme de terre, le Ricin, la Courge.

1° *Solanum tuberosum*. — Une Pomme de terre, ayant germé dans une cave, avait produit une tige extrêmement longue, le rameau avait, en effet, plus d'un mètre. La partie jeune s'était développée hors d'un tas de sable dans lequel les dixième, onzième et douzième entre-nœuds étaient restés plongés. En examinant les entre-nœuds successifs à partir du point où la tige sort du sable et des deux côtés, on voit se produire un développement inverse de la feuille et du rameau né à son aisselle; on constate en même temps que les racines adventives s'accroissent parallèlement au rameau (pl. II, fig. 18). Au quatrième nœud à partir de l'extrémité de la tige qui est aérienne (fig. 19), on trouve une feuille étiolée assez grande tandis que le rameau n'est pas développé; aux nœuds suivants, on voit bientôt pointer les racines adventives, l'une en avant de la petite branche (plus rapprochée du sommet de la pousse entière), les autres latérales (fig. 20 et 21); en même temps, le rameau se développe et la feuille, en diminuant, tend à reprendre de plus en plus la forme d'écaille (fig. 20 à fig. 22). Enfin, dans la région complètement enterrée, l'écaille est réduite extrêmement, le rameau s'est allongé considérablement et neuf racines adventives existent maintenant autour de lui (fig. 23). On a déjà vu des différences analogues se produire entre la tige enterrée et la tige aérienne du *Solanum tuberosum*, mais les feuilles de la partie aérienne étaient plus développées.

D'après ce qui précède, on voit que la partie jeune de cette longue tige s'était développée à l'obscurité, la partie la plus âgée était restée sous terre. Il y a donc là les éléments de comparaison, si la partie plus jeune présente des tissus nouveaux ou une différenciation plus grande.

Les épaisseurs comparées des différentes régions étaient les suivantes :

TISSUS	ÉPAISSEUR DES TISSUS de la PARTIE SOUTERRAINE.	ÉPAISSEUR DES TISSUS de la PARTIE AÉRIENNE A L'OBSCURITÉ.
Écorce	42	42
Liber	18	16
Bois	22	22
Moelle	185	280

Il ressort de ce tableau comparatif que le diamètre de la tige aérienne étiolée est de beaucoup le plus grand, et que cette grande épaisseur est due au développement considérable de la moelle. Ce résultat concorde donc avec ceux obtenus par M. Rauwenhoff (1). On a vu, en effet, que, dans les parties enterrées, l'écorce se développe relativement plus que la moelle. Dans le cas dont il s'agit, la moelle de la partie aérienne étiolée est bien plus considérable que celle de la partie souterraine. C'est donc là une première différence importante. Il y en a une autre aussi nette. Dans la partie aérienne à l'obscurité, le parenchyme cortical est divisé en deux régions ; on observe l'existence du collenchyme à la périphérie, sous l'épiderme, tandis que, dans la région corticale interne, la paroi des grandes cellules, qu'on y trouve, reste mince. Dans la tige enterrée, il n'y a pas de collenchyme. On constate de plus, et seulement dans cette dernière partie, que l'épiderme est envahi par une substance brunâtre qui est le premier indice de la subérification et que l'amidon est abondant dans la moelle et l'écorce.

En résumé, dans la tige aérienne étiolée, la moelle est beaucoup plus épaisse et le collenchyme existe dans le parenchyme cortical. Ce dernier tissu n'est cependant pas à beaucoup près

(1) Loc. cit.

aussi développé que dans la partie aérienne (1). L'existence du collenchyme, dans la tige aérienne développée à l'obscurité, semble justifier plutôt l'opinion de M. Giltay (2) que celle de M. Schwendener. La tige était rampante, le collenchyme n'était donc pas un appareil de soutien, et, comme la transpiration est encore active à l'obscurité, le rôle de modérateur de la transpiration peut être admis pour ce tissu; de plus, à la lumière une plante transpire plus qu'à l'obscurité, l'appareil modérateur de la transpiration n'a donc pas besoin d'être aussi puissant dans ce dernier cas.

2° *Ricinus communis*. — Les tiges de Ricin s'allongent énormément à l'obscurité, et bien plus que sous terre. J'ai fait germer trois séries de graines de cette plante, les unes à la lumière, les autres sous le sol, les dernières enfin à l'air et à l'obscurité. La longueur moyenne était de 6 centimètres pour les tiges aériennes, de 25 centimètres pour les tiges souterraines, et de 40 centimètres pour les tiges aériennes développées à l'obscurité. Malgré l'allongement de ces dernières tiges, presque tous leurs tissus indiquent un ralentissement dans la vie générale de la plante. L'endoderme, qui ne présente pas de plissements dans la tige aérienne, en offre de très visibles dans les deux autres tiges poussées sous terre et dans l'air à l'obscurité (pl. V, fig. 49 et 50). Le liber présente une singularité : les fibres libériennes, si bien développées dans la tige aérienne, manquent dans la tige souterraine. Quoique la tige aérienne étiolée montre, relativement à la tige enterrée, un retard sensible dans le développement du liber mou, les fibres libériennes sont bien développées cependant dans cette dernière tige. La couche génératrice libéro-ligneuse n'existe pas en face des faisceaux de ces deux dernières plantes anormales, tandis qu'elle est déjà bien indiquée dans le faisceau de la partie aérienne (fig. 48, 49 et 50).

On voit donc que l'on constate, dans cette plante, le même retard dans le développement de l'endoderme, de la tige

(1) Voy. pl. III, fig. 27.

(2) *Loc. cit.*

aérienne étiolée et de la tige enterrée; en outre, les *fibres libériennes apparaissent plus vite* dans la première tige. L'apparition précoce de ce dernier tissu est probablement en rapport avec l'allongement extraordinaire de la tige étiolée, nécessitant le développement rapide des éléments de soutien.

3° *Cucurbita Pepo*. — On retrouve dans la Courge des différences analogues aux précédentes. Le collenchyme de la partie aérienne est peu développé, il se retrouve dans les tiges poussées à l'obscurité, mais très dégradé, ce tissu manque même en un certain nombre de points. Le collenchyme n'existe pas du tout dans la tige enterrée. On trouve le même retard que dans le Ricin dans le développement de l'endoderme chez les deux tiges anormales, car les ponctuations de cette assise y sont bien visibles. Je n'ai pas retrouvé, dans les tiges de Courge développées à l'abri de la lumière et à l'air, le développement précoce des fibres libériennes que je viens de signaler dans le Ricin. Le liber mou, dans cette dernière plante, est très développé, mais la couche génératrice externe libéro-ligneuse, qui est légèrement indiquée dans la Courge enterrée, manque dans la Courge étiolée. Comme conséquence de ce dernier fait, le faisceau du bois est extrêmement peu développé dans cette dernière tige (pl. IV, fig. 37); en sorte que, relativement au tissu ligneux, on constate une dégradation très marquée de la tige aérienne à la tige souterraine et de celle-ci à la tige étiolée et aérienne.

En résumé, *les ponctuations de l'endoderme sont visibles seulement dans les deux tiges développées à l'abri de la lumière*; la couche génératrice libéro-ligneuse est bien indiquée et les faisceaux du bois sont bien développés dans la tige souterraine, tandis que *la couche génératrice n'existe pas encore, et les faisceaux ligneux sont très peu développés* dans la tige aérienne développée à l'abri de la lumière.

Malgré ce retard, qui vient d'être signalé, le collenchyme peut cependant exister dans les tiges aériennes maintenues à l'obscurité, tandis qu'il disparaît dans les tiges souterraines.

Il résulte donc bien de cette étude qu'il y a des différences

importantes entre la tige maintenue sous le sol et la tige aérienne étiolée; c'est là seulement ce que je me suis proposé de montrer dans ce présent chapitre.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES DE LA PARTIE EXPÉRIMENTALE.

On peut déduire de l'ensemble des recherches que je viens d'exposer, que le séjour sous le sol, en changeant les conditions d'existence des cellules de la plante, peut modifier tous les tissus de la tige.

Les tissus périphériques, comme on pouvait facilement le supposer, éprouvent très vite de grandes transformations. L'épiderme, simplement cuticularisé dans la tige aérienne, commence à se subérifier; cette subérification tend à envahir toutes les faces des cellules de cette assise et souvent elle s'étend aux assises sous-jacentes. Les cellules ainsi subérifiées, se trouvant alors isolées des tissus plus internes de la plante, ne tardent pas à mourir. La mortification menaçant d'atteindre les couches profondes, il tend à se former une couche génératrice de liège qui isole les cellules mortes des cellules restées vivantes et forme une espèce de muraille devant laquelle la destruction s'arrête.

Pendant que se produit autour de la tige ce tissu de protection puissant, l'écorce augmente beaucoup d'épaisseur; ce changement tient, à la fois, à l'augmentation du volume des cellules du parenchyme cortical et à leur multiplication. L'accroissement en volume et en nombre de ces cellules peut s'expliquer par la diminution de la transpiration et par l'absence de lumière.

La transpiration étant considérablement entravée dans les plantes vivant sous le sol, on conçoit que le collenchyme, dont les cellules ont les parois très épaisses, arrêterait, dans une certaine mesure, la faible transpiration qui subsiste encore; ce tissu disparaît dans la partie souterraine. On a attribué aussi au collenchyme un rôle de soutien pour la tige aérienne; la

tige enterrée n'ayant pas besoin d'être soutenue, on peut comprendre encore, par cette raison, que le collenchyme ne s'y développe pas.

La dernière assise de l'écorce, l'endoderme, peut se modifier également. Dans la partie souterraine, les cellules de cette assise restent longtemps à la première phase de leur évolution; les plissements des parois latérales y sont souvent visibles pendant plus de temps que dans la tige aérienne; enfin, la subérification, qui envahit souvent les parois entières de cette assise, s'y montre plus tardivement. Il y a donc un retard dans le développement de l'endoderme chez les plantes maintenues sous le sol.

Ce retard est très manifeste également dans les faisceaux libéro-ligneux; l'activité de la couche produisant le bois et le liber est extrêmement ralentie dans la tige maintenue enterrée. Dans le faisceau, entre le bois et le liber, cette couche est très peu développée, et souvent elle manque complètement d'un faisceau à l'autre, tandis que, chez les tiges aériennes, elle est, dans les régions comparables, très développée dans ces deux parties.

De ce faible développement de la couche génératrice, il résulte un retard dans l'évolution du faisceau du liber et dans celui du bois. Dans le liber; les fibres sont très peu nombreuses ou manquent complètement; on retrouve bien les cellules allongées à parois obliques qui doivent les former, mais les parois ne s'épaississent pas. Il semble assez naturel de trouver dans la tige enterrée un moindre développement de ces fibres dont l'un des rôles principaux est de supporter la tige aérienne. La formation des éléments ligneux subit un ralentissement très manifeste; les vaisseaux ne se forment qu'en petit nombre et la lignification des cellules parenchymateuses environnant les vaisseaux est faible ou nulle. La lignine se produit donc difficilement dans les éléments du bois et les fibres libériennes.

La moelle, quoique ce tissu soit au centre de la tige, subit également l'influence du sol. On trouve, d'une façon générale, que le rapport de la moelle à l'écorce est plus grand dans la tige aérienne que dans la tige souterraine.

Enfin, l'amidon peut se montrer dans les tiges enterrées.

En résumé, dans les tiges maintenues sous le sol, on voit que :

- 1° *L'épiderme se subérifie.*
- 2° *Une couche subéreuse peut naître vers la périphérie.*
- 3° *Le parenchyme cortical augmente.*
- 4° *Le collenchyme disparaît.*
- 5° *Les plissements de l'endoderme sont plus longtemps visibles.*
- 6° *Les fibres libériennes sont peu développées ou manquent.*
- 7° *La couche génératrice libéro-ligneuse est moins active.*
- 8° *Les faisceaux du bois sont moins développés et la lignification ne se produit que difficilement.*
- 9° *Le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible que dans la tige aérienne.*
- 10° *Il peut se former de l'amidon.*

Ces variations étant trouvées, je vais chercher, en comparant les tiges souterraines naturelles aux tiges aériennes de la même plante, si l'on observe des différences analogues à celles qui viennent d'être indiquées.

COMPARAISON
DES TIGES AÉRIENNES ET SOUTERRAINES
NATURELLES

Dans les plantes ayant naturellement des tiges souterraines, l'action du milieu doit être bien plus profonde que chez celles dont il vient d'être question dans la première partie de ce travail.

En effet, dans les expériences précédentes, le séjour des plantes sous terre a duré très peu de temps, quelques semaines le plus souvent; dans plusieurs cas cependant, ces tiges ont été maintenues pendant six mois sous le sol, enfin une expérience a été continuée une année entière. On a vu, d'après les résultats exposés précédemment, que, malgré la brièveté de la plupart de ces expériences, il n'est pas de tissu qui n'ait été modifié par ce changement de milieu. Les expériences l'ont pensé, par l'ensemble très concordant des résultats, que les mêmes modifications doivent se retrouver dans les rhizomes. Seulement, comme dans ces derniers organes le séjour sous le sol se prolonge beaucoup plus que pour les plantes examinées dans la partie expérimentale, les transformations doivent être plus intenses.

Je vais donc comparer maintenant les tiges aériennes et les tiges souterraines de la même plante dans un grand nombre d'espèces. Je chercherai quelles sont les différences analogues à celles que j'ai trouvées expérimentalement et par conséquent dues à l'influence directe du milieu. Je regarderai les autres modifications comme morphologiquement héréditaires (1).

(1) Je décrirai les familles que j'ai eu l'occasion d'étudier dans l'ordre suivant lequel elles sont rangées dans la classification de Brongniart. Dans chaque famille, je choisirai un type que je décrirai avec détail et auquel je comparerai ensuite les autres.

PAPILIONACÉES.

Les Papilionacées présentent de faibles différences entre leurs parties aériennes et leurs parties souterraines ; aussi cette famille peut-elle bien servir de point de départ.

I. *Genista sagittalis*. — Si l'on examine d'abord un type singulier, le *Genista sagittalis*, on trouve entre sa tige aérienne et sa tige souterraine des différences nombreuses, parmi lesquelles quelques-unes ne tiennent pas au milieu. La tige aérienne offre trois ailes très saillantes qui présentent, dans une section transversale, la coupe d'un limbe de feuille. A l'extrémité de ces appendices, on trouve un léger renflement dans lequel il existe un très important groupe de fibres disposées symétriquement par rapport au plan médian de l'appendice, ces fibres font partie du liber d'un faisceau libéro-ligneux dont la partie vasculaire est très réduite. On constate, en outre, dans chaque aile, la présence d'un certain nombre de faisceaux libéro-ligneux dans lesquels les fibres libériennes sont très grosses sinon très nombreuses. Le système de soutien de ces appendices est donc bien développé. Entre ces grandes saillies, la tige en présente de plus petites qui contiennent des fibres libériennes englobées souvent dans un prolongement étranglé du cylindre central. L'endoderme ne présente pas de ponctuations, il forme une couche régulière à la périphérie du liber ; ce dernier est disposé en anneau régulier montrant des fibres distribuées irrégulièrement vers l'extérieur. Le bois forme un anneau entier dans lequel on distingue les faisceaux primaires, grâce au parenchyme non lignifié entourant les trachées et se détachant sur le fond de la moelle ; cette dernière est légèrement imprégnée de lignine.

Dans la partie souterraine, on voit que la tige est absolument circulaire, les ailes manquent complètement. Quoique cette tige soit plus âgée, les fibres libériennes sont peu nombreuses et ne forment pas des groupes importants comme dans

la tige aérienne. Les faisceaux du bois forment un anneau très épais dans lequel les fibres existent en assez grande abondance. Mais le fait le plus saillant est la réduction considérable de la moelle relativement à l'anneau ligneux qui est si puissant. Une assise subéreuse très importante existe à la périphérie de cette tige.

On voit donc que les différences qui existent entre les deux parties de la tige sont très nombreuses; mais certaines sont spéciales à l'espèce dont il s'agit. D'abord les ailes de la tige aérienne sont évidemment des productions particulières, résultant de la soudure de la tige avec les feuilles; la formation de ces ailes sur la tige aérienne est un fait morphologique, tenant à l'espèce dont il s'agit, et n'ayant pas de rapport avec le milieu. L'épaississement considérable de l'anneau du bois dans la tige souterraine tient à l'âge avancé de cette région. La production de la couche subéreuse peut tenir à l'âge et au milieu. Il existe cependant des différences qui tiennent uniquement au milieu : l'arrondissement de la tige enterrée est une modification que j'ai pu produire expérimentalement dans le *Teucrium Scorodonia*; en second lieu, le faible développement des fibres libériennes dans cette partie de l'axe, comparé à l'accroissement considérable de l'anneau du bois, indique une grande dégradation des éléments de soutien; mais c'est surtout dans la diminution considérable de la moelle que se montre le résultat le plus net du séjour sous le sol de cette partie de la plante. Ainsi on trouve pour les épaisseurs comparées de la moelle et de l'anneau ligneux :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Anneau ligneux.....	10	70
Moelle	50	20

II. Je vais maintenant examiner les autres plantes de cette famille que j'ai pu étudier.

1° *La tige souterraine devient ronde.* — La disparition des angles et des saillies est manifeste dans la partie souterraine de l'*Orobis tuberosus*; la tige aérienne de cette espèce présente trois saillies qui ne se montrent plus dans le rhizome. J'ai vérifié le même fait dans le *Coronilla minima*, le *Vicia tenuifolia*, le *Lotus uliginosus*, le *Lathyrus sylvestris*, etc.

2° *Modification de l'épiderme et des tissus externes.* — Dans le *Vicia tenuifolia*, l'épiderme de la partie aérienne est simplement cuticularisé; cette assise, au contraire, s'imprègne dans la partie souterraine d'une substance noirâtre qui envahit aussi l'assise sous-jacente. Le *Coronilla minima* offre une particularité dans les cellules épidermiques de la tige aérienne; elles jaunissent fortement par le sulfate d'aniline, ce qui montre que leur paroi externe est lignifiée; dans la partie souterraine, l'épiderme subsiste encore en un petit nombre de points où l'écorce n'est pas encore exfoliée, et ses parois y sont brunâtres. La subérine, qui précédemment n'atteignait que les assises sous-jacentes à l'épiderme, se propage dans presque toute l'écorce chez le *Galega orientalis*. On retrouve les mêmes modifications dans le *Lotus uliginosus*.

3° *Collenchyme.* — Le collenchyme existe seulement dans l'assise sous-épidermique de la tige aérienne de *Coronilla minima*, mais il y est très développé; partout où l'écorce subsiste encore dans la tige souterraine, ce tissu a disparu.

4° *Endoderme.* — On a vu que dans la tige souterraine du *Lotus uliginosus* l'épiderme est brunâtre, la subérine peut envahir presque toute l'écorce; il ne se forme pas de couche subéreuse à la périphérie de la tige, cette couche se produit dans l'endoderme. Si l'on coupe deux tiges de cette plante, l'une souterraine et l'autre aérienne, en des points séparés tous les deux du sommet par dix entre-nœuds, on remarque des différences sensibles dans la constitution de cet endoderme. Il y a un léger retard dans la multiplication des cellules de la partie aérienne. En effet, les faisceaux libéro-ligneux font des saillies dans l'écorce; à l'endroit d'un de ces bombements, on voit, dans la partie aérienne, que les fibres libériennes sont

en contact immédiat avec l'endoderme, dont les cellules sont divisées en deux; on peut encore distinguer les ponctuations endodermiques sur la moitié externe. Si l'on examine la tige souterraine au même niveau, les divisions de l'endoderme sont plus nombreuses en face des fibres libériennes, car il y a trois et quatre assises de cellules en cet endroit. La couche génératrice subéreuse tend donc à se produire plus vite dans la tige enterrée (1). Dans le *Galega orientalis*, l'endoderme est également en voie de division dans le rhizome; la couche subéreuse présente quatre assises de cellules; la tige aérienne étant jeune, l'endoderme n'est pas divisé. Dans le *Trifolium alpestre*, on retrouve les mêmes faits dans la tige souterraine; pendant ce temps, l'endoderme de la tige aérienne présente des cristaux analogues à ceux qui ont été déjà trouvés dans le Pois chiche. Ces cristaux se montrent également chez le *Vicia tenuifolia* dans cette assise qui est écrasée par le développement des fibres libériennes.

5° *Fibres libériennes*. — Les fibres libériennes sont très réduites dans la tige souterraine du *Coronilla minima* relativement à celles de la tige aérienne; comme la partie aérienne était plus jeune que la partie enterrée, on ne peut attribuer la réduction observée à un âge moins avancé. La tige aérienne de l'*Orobis tuberosus* présente trois saillies soutenues par des groupes très importants de fibres libériennes; ces groupes sont extrêmement réduits dans le rhizome. Chez le *Vicia tenuifolia*, on constate, dans la tige souterraine, une décomposition des groupes les plus épais des fibres libériennes de la partie aérienne en petites agglomérations moins importantes. Cette dissociation des faisceaux de fibres est également très sensible dans l'*Ononis natrix*; les fibres libériennes de la tige aérienne de cette plante forment des arcs étalés, composés d'un grand nombre de fibres, qui existent sur toute la périphérie du cylindre central en restant indépendants les

(1) Ici elle se produit dans une assise spéciale, l'endoderme; le développement ordinaire de cette assise est complètement modifié par la naissance de ces divisions.

uns des autres. Dans la partie souterraine, ces arcs sont dissociés en un grand nombre de petits groupes. Il est à remarquer que la diminution de ces fibres est faible dans cette famille bien moins nette et moins complète que dans celles qui la suivent dans cet exposé.

6° *Bois*. — On a déjà vu qu'il existe un anneau ligneux très puissant et complet dans la partie souterraine du *Genista sagittalis*. L'*Orobis tuberosus*, qui a un rhizome très net, présente également un anneau ligneux dans cette partie de la tige; on reconnaît dans cette plante la situation des faisceaux primaires à ce qu'ils font une saillie dans la moelle; dans cette saillie, qui est très importante, leur individualité est presque complète, car le parenchyme ligneux qui les relie est peu développé. On retrouve partout l'anneau ligneux : dans le *Coronilla minima*, l'*Ononis natrix*, le *Medicago Lupulina* et le *Galega orientalis*. Enfin, dans la tige enterrée du *Lotus uliginosus*, les faisceaux étaient très peu développés, aussi étaient-ils séparés, mais la couche génératrice existait entre eux; il en est de même de la partie souterraine du *Trifolium alpestre*.

7° *Développement comparatif de l'écorce et de la moelle*. — On trouve parmi les Papilionacées, des cas bien caractérisés d'augmentation de parenchyme cortical et de diminution de la moelle dans les tiges souterraines. L'*Hippocrepis comosa* présente les épaisseurs suivantes pour la moelle et l'écorce :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	13	2
Moelle.....	50	25

On voit donc, qu'en passant de la tige aérienne à la tige souterraine, l'épaisseur de l'écorce arrive à dépasser le double de sa valeur primitive, tandis que la moelle diminue de moitié. Ces résultats s'accordent donc bien avec ceux qui ont été trouvés expérimentalement : le parenchyme cortical s'ac-

croît dans les tiges enterrées, et le rapport de la moelle de l'écorce est plus petit dans ces dernières tiges que dans les tiges aériennes.

On obtient des résultats semblables dans d'autres plantes de cette famille :

NOMS DES ESPÈCES.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Orobis tuberosus</i>	Écorce.....	7	15
	Moelle.....	78	30
<i>Vicia tenuifolia</i>	Écorce.....	7	50
	Moelle.....	70	60
<i>Coronilla minima</i>	Écorce.....	5	12
	Moelle.....	40	35

On voit que, dans ces plantes, ce n'est pas seulement le rapport de la moelle à l'écorce qui diminue en passant de la tige aérienne à la tige souterraine; la valeur absolue du diamètre de la moelle est moindre, tandis que l'épaisseur du parenchyme cortical augmente.

Dans la dernière plante citée, le parenchyme cortical était presque complètement exfolié en certains points, l'écorce entière subsistant en d'autres; si l'exfoliation de cette partie avait été complète, la comparaison du bois et de la moelle aurait pu être aussi concluante que celle de ce dernier tissu avec l'écorce.

Dans le *Genista tinctoria*, je n'ai observé qu'une tige souterraine dans laquelle le parenchyme cortical avait été en partie exfolié; l'anneau ligneux avait pris une importance considérable, car cette région était beaucoup plus âgée que la partie aérienne; la moelle était, au contraire, très réduite. Voici les épaisseurs comparées du bois et de la moelle dans ces deux dernières plantes :

NOMS DES ESPÈCES.	TISSUS	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Coronilla minima</i>	Épaisseur du bois..	7	30
	Moelle.....	40	35
<i>Genista tinctoria</i>	Épaisseur du bois..	14	130
	Moelle.....	65	30

La réduction de la moelle est donc toujours très nette.

8° *Amidon de la partie souterraine.* — Le *Lotus uliginosus* permet de constater un fait intéressant. Tant qu'on examine la partie aérienne de cette plante, on trouve de la chlorophylle dans l'écorce, et on constate la présence d'une très faible quantité d'amidon dans le tissu médullaire. Dès qu'on passe à la partie souterraine, on voit apparaître presque partout l'amidon en très grande abondance. Ce qu'il faut surtout noter, c'est que, tandis qu'on passe de la structure de la partie aérienne à celle de la partie souterraine en franchissant une série de stades intermédiaires, on trouve brusquement l'amidon en grande abondance dès qu'on a atteint une région qui se trouve au-dessous du niveau du sol. Cette substance existe également dans l'*Orobis tuberosus*, le *Vicia tenuifolia*, etc.

C'est surtout en étudiant le passage de la partie aérienne à la partie souterraine qu'on peut arriver à mettre en évidence l'influence du milieu, bien mieux qu'en comparant des tiges d'âges très différents. Aussi vais-je étudier ce passage dans une plante de cette famille.

III. *Lathyrus sylvestris.* — La tige aérienne de cette plante est quadrangulaire; les cellules de l'épiderme, fortement cuticularisées, se colorent par la fuchsine dans la partie extérieure de la membrane. Aux angles de la tige, dans l'écorce, se trouvent des groupes de fibres. La chlorophylle existe dans le parenchyme cortical, principalement dans les cellules sous-épidermiques. L'endoderme, qui termine l'écorce, est formé

de cellules beaucoup plus petites que celles du parenchyme cortical, qui présentent les plissements caractéristiques de cette assise. Le corps central est prismatique, il offre à sa périphérie six groupes de fibres libériennes qui correspondent à six faisceaux libéro-ligneux. Les fibres précédentes sont formées aux dépens de l'assise immédiatement en contact avec l'endoderme et les assises sous-jacentes. Les faisceaux du bois sont disposés de façon que les quatre plus importants soient rapprochés deux à deux, ces deux groupes étant largement séparés par deux faisceaux intermédiaires. La moelle, formée de grandes cellules, est bien développée.

Au niveau du sol, la tige présente déjà des caractères différents; elle devient ronde, et son diamètre augmente beaucoup. L'épiderme se compose de cellules dont la membrane externe est déjà noircie. Dans le parenchyme cortical, les cellules se sont considérablement accrues en volume; l'endoderme est aussi formé de cellules plus grosses. A ce niveau, il reste entre les fibres libériennes et l'endoderme une assise de cellules à parois minces. Pendant que le diamètre des cellules de l'écorce croît, ainsi que cela vient d'être dit, celui des cellules de la moelle diminue, au contraire, très nettement.

Au-dessous de la surface du sol, le diamètre de la tige s'accroît toujours; les cellules de l'épiderme se subérifient de plus en plus; l'écorce prend un développement de plus en plus grand; enfin la moelle, extrêmement réduite, est formée de cellules plus petites que celles de l'écorce, tandis que, dans la partie aérienne, l'inverse avait lieu. En même temps que ces diverses modifications se produisent, il s'emmagine dans toutes les cellules de la moelle et de l'écorce une très grande quantité d'amidon. Ce qu'il y a surtout de spécial, c'est que la diminution des fibres libériennes n'est pas encore sensible. Ainsi, l'apparition de l'amidon, l'accroissement de l'écorce, la réduction de la moelle, la subérification de l'épiderme se font très brusquement, tandis que la réduction des fibres libériennes se produit dans une partie, beaucoup plus profonde du sol.

On constate, en effet, au neuvième entre-nœud de la partie souterraine, la diminution très nette de ces fibres. Cette réduction porte aussi bien sur les fibres qui existent dans l'écorce que sur celles du cylindre central. Les faisceaux du bois sont, au contraire, bien développés et constitués maintenant par quatre faisceaux, deux grands alternant avec deux petits et formant un anneau presque complet. A cet endroit, la tige est absolument ronde. Ce sont donc les fibres qui subissent en dernier lieu l'influence du milieu.

En terminant l'étude des Papilionacées, on peut remarquer que les différences constatées entre les tiges aériennes et les tiges souterraines sont faibles, et que la diminution des fibres libériennes est peu importante. Cependant on retrouve dans ces plantes des variations bien nettement dues au séjour sous le sol des régions souterraines de la tige :

1° *L'épiderme est envahi par la subérine* ; 2° *le parenchyme cortical s'accroît* par l'augmentation du nombre et du volume de ses cellules ; 3° *le diamètre de la moelle diminue considérablement* ; 4° *une couche subéreuse tend à se développer rapidement* dans l'endoderme de la tige enterrée ; 5° *les fibres libériennes deviennent moins importantes en nombre* ; 6° *l'amidon existe en grande abondance* ; 7° *la tige tend à devenir ronde*.

ROSINÉES (1).

Les différences de structure entre les tiges aériennes et souterraines des Papilionacées sont en somme peu saillantes ; l'étude des Rosinées va présenter des différences plus considérables et surtout plus frappantes. Je vais prendre le *Spiraea Filipendula* pour type.

I. *Spiraea Filipendula*. — La tige aérienne présente un épiderme qui se colore légèrement en jaune par le sulfate

(1) Je n'ai pas cru devoir séparer les familles de cette classe parce que les plantes qui la forment constituent un tout homogène.

d'aniline; cette lignification ne s'étend pas seulement à la paroi externe, elle atteint la paroi interne et même régulièrement l'assise sous-jacente. Le parenchyme cortical est réduit et formé de cinq ou six assises de cellules d'un diamètre assez faible. Le corps central est bordé par une assise régulière de cellules ne présentant pas de ponctuations sur les faces latérales. A la périphérie du corps central, il existe un anneau de soutien très développé dans lequel on peut distinguer deux parties. On voit d'abord des groupes importants de fibres très petites en face de chacun des faisceaux; on trouve ensuite, entre les faisceaux libéro-ligneux, de grandes cellules à parois très épaissies, mais à cavité moins réduite que dans les fibres précédentes. Ces dernières cellules proviennent évidemment de la transformation du tissu fondamental. Quant aux premières, avec un peu d'attention, on arrive à distinguer vers le centre, du côté du liber mou, un groupe de fibres à cavité plus grande qui sont en continuité avec le liber et qui représentent des fibres libériennes, tandis que les fibres plus externes proviennent de la différenciation du tissu fondamental. Les faisceaux du bois sont aussi peu développés que les faisceaux du liber; il n'y a pas de couche génératrice entre ces deux sortes de faisceaux. Les faisceaux libéro-ligneux sont donc fermés; étant emprisonnés de tous les côtés, ils ne peuvent pas prendre d'extension. En effet, même du côté de la moelle, les cellules mécaniques existent et contournent complètement le faisceau du bois; elles forment un arc interne à concavité tournée vers l'extérieur qui ne touche pas les trachées, car il existe un parenchyme non lignifié autour de ces derniers vaisseaux. Ce tissu est formé de cellules légèrement allongées, ne constituant pas un vrai liber interne, car on n'y trouve pas de tubes criblés; cependant, il semble qu'on pourrait peut-être regarder ce tissu comme le représentant avorté du liber qui existe chez un grand nombre de familles. Enfin, on trouve une moelle très importante relativement au parenchyme cortical, lignifiée à la périphérie et résorbée au centre de la tige.

Le rhizome de cette Spirée présente une structure tout à fait différente. Une couche épaisse subéreuse se montre d'abord à la périphérie. Dans la partie interne de cette couche très puissante et très régulière, on distingue deux assises de cellules contenant un suc jaune rougeâtre; ces deux assises sont séparées entre elles par d'autres cercles de cellules contenant un protoplasma incolore; en outre, la substance rougeâtre précédente s'accumule dans toutes les cellules les plus externes de la couche subéreuse. Par l'activité de cette couche génératrice, l'écorce primaire a été exfoliée, et le tissu qu'on rencontre alors vers la périphérie, mais à l'intérieur du suber, est formé par le liber sans fibres qui a pris un grand développement. Ce développement peut se concevoir : en effet, l'anneau fibreux qui existe à la périphérie du cylindre central de la tige aérienne disparaît complètement, il ne subsiste même plus une seule fibre libérienne; cet appareil ayant disparu, on comprend que la couche génératrice libéro-ligneuse entre en puissante activité, et que le liber prenne une grande extension. Ce liber est formé en section transversale de cellules empilées les unes derrière les autres dans le sens radial; cette disposition, qui est la preuve de la grande activité de la couche génératrice, se montre également en dehors des rayons médullaires qui sont très développés. En section longitudinale, on voit que les tubes criblés sont peu nombreux dans le tissu libérien. Pendant que la couche génératrice produit ce liber à l'extérieur, elle forme également des vaisseaux ligneux en grande abondance, car les faisceaux du bois sont extrêmement allongés; ils restent isolés comme dans la tige aérienne, séparés par de très grands rayons médullaires. Dans la tige aérienne, les rayons médullaires se lignifient; dans le rhizome, la lignification ne se produit pas dans ce tissu. La lignine, qui manque dans les rayons médullaires, se dépose très irrégulièrement dans les faisceaux ligneux eux-mêmes; ces faisceaux sont, en effet, constitués par des vaisseaux lignifiés mêlés sans ordre à du parenchyme non atteint par la lignification. Enfin, la moelle non lignifiée est assez puissante.

En résumé, on trouve entre la tige aérienne et le rhizome les différences suivantes :

1° Il se forme dans la partie souterraine une couche subéreuse très puissante qui exfolie l'écorce primaire.

2° L'anneau de soutien très important de la tige aérienne disparaît complètement dans le rhizome.

3° L'assise génératrice libéro-ligneuse entre en grande activité dans ce dernier et produit d'énormes faisceaux libéro-ligneux, tandis que les faisceaux sont fermés dans la tige aérienne (1).

4° Dans le rhizome, les faisceaux libériens n'ont pas de fibres et les faisceaux ligneux n'ont, comme éléments lignifiés, que les vaisseaux.

II. Examinons maintenant les modifications qu'offrent les autres plantes de la classe des Rosinées.

1° *Développement de l'assise subéreuse.* — On a déjà vu, en étudiant la Ronce, que, chez cette plante, il naît dans l'endoderme une couche subéreuse; on a vu également que cette couche prend un grand développement dans l'extrémité qui s'enterre naturellement (2), c'est-à-dire la plus jeune. Il s'agit maintenant de chercher, dans les différentes Rosinées que j'ai eu l'occasion d'étudier, où naît la couche subéreuse.

Si l'on examine une tige aérienne d'*Alchimilla vulgaris*, on trouve un endoderme formé de cellules très régulières qui se distinguent de celles du reste du parenchyme cortical par leur petitesse; leurs parois latérales ne présentent pas de ponctuations, elles sont complètement subérifiées. Dans un rhizome jeune de cette plante, on retrouve cette assise formée de petites cellules, et dédoublée en plusieurs endroits; en outre, on voit apparaître en plusieurs points de cette couche la

(1) On a vu, dans la partie expérimentale, que la couche cambiale est retardée dans son développement lorsque l'on compare des tiges du même âge; les deux régions de la même tige que l'on compare ici sont d'âges très différents.

(2) Voy. plus haut, p. 22.

matière rougeâtre qui a déjà été signalée dans le *Spiræa Filipendula*. Enfin, dans un rhizome plus vieux d'*Alchimilla*, on trouve, en dedans de l'écorce qui n'est pas encore exfoliée, cet endoderme divisé en six ou sept assises de cellules. C'est donc bien l'assise endodermique qui a donné naissance, dans ce cas, à la couche subéreuse. La matière rouge, qui n'avait fait qu'apparaître précédemment, prend ici un grand développement et se trouve répartie sur plusieurs assises de cellules.

J'ai constaté des faits analogues pour le *Fragaria vesca*. Dans un stolon les tissus sont à peine différenciés; dès qu'on pénètre dans la partie souterraine, on voit un endoderme bien net divisé en deux, une matière jaune rougeâtre se trouve localisée dans les cellules les plus internes. Dans un rhizome beaucoup plus vieux, cette couche subéreuse arrive à présenter neuf et même dix assises de cellules, au milieu desquelles on distingue plusieurs cercles de cellules contenant la substance rouge indiquée précédemment. Enfin, on peut trouver des points où l'écorce primaire est exfoliée et où la couche subéreuse subsiste seule à la périphérie. On observe alors une structure analogue à celle qui a été trouvée dans le *Spiræa Filipendula* et que l'on constate dans le *Geum urbanum*.

Chez le *Potentilla verna*, j'ai vu dans un rhizome l'écorce, considérablement accrue mais encore vivante, recouverte d'un épiderme légèrement brunâtre; du côté interne de cette écorce, il existe une couche subéreuse bien développée. Cette couche présente, comme dans les Rosinées précédentes, deux cercles de cellules à contenu rougeâtre; on voit, en certains points, cette assise contourner des racines secondaires qui se sont formées dans le cylindre central, mais qui n'ont pas encore émergé du rhizome.

D'après ce qui vient d'être dit, il résulte qu'il y a une grande uniformité quant à l'origine et à la constitution de la couche subéreuse des plantes que j'ai pu examiner.

2° *Anneau de soutien*. — On retrouve l'anneau de soutien, dont il a été question dans la Spirée, chez les tiges aériennes d'autres plantes de la même classe.

Dans le *Geum urbanum* l'anneau est plus homogène, car il est formé uniquement de fibres dont les cavités sont réduites. Il ne fait pas, comme dans la Spirée, une série de saillies dans l'écorce, et les faisceaux libéro-ligneux sont rejetés vers le centre de la tige. En outre, le tissu de soutien n'entoure pas complètement les faisceaux, car la pointe interne reste libre. Dans le rhizome de cette plante, cet appareil a entièrement disparu.

Dans l'*Agrimonia Eupatoria*, le cylindre central fait dans l'écorce de légers bombements; l'anneau fibreux est considérable, car son développement est parallèle à celui des faisceaux ligneux, qui sont très puissants dans cette plante. Les fibres de l'Aigremoine se distinguent par leur taille relativement grande et l'épaississement très important de leur paroi, de sorte que la trace de leur cavité se réduit presque à un point. Cet anneau fait des saillies très avancées dans le liber mou; en certains points même, ce liber se trouve divisé en deux ou trois îlots par des prolongements qui vont rejoindre les faisceaux du bois. Lorsqu'on traite les coupes de cette tige par le sulfate d'aniline, les fibres de l'anneau prennent une teinte d'un jaune d'or aussi accentué que le tissu ligneux; c'est là d'ailleurs un fait général, les fibres du tissu de soutien de la Spirée, de la Benoîte, sont également très lignifiées. Il est à remarquer que, dans la tige aérienne d'*Agrimonia*, les faisceaux ligneux étant reliés entre eux, l'anneau ligneux ne les contourne pas. Tout cet appareil de soutien disparaît dans le rhizome.

Enfin l'appareil de soutien peut se réduire beaucoup; dans le *Potentilla verna*, il est formé d'arcs de fibres libériennes, cette disposition est assez analogue à ce qui a déjà été indiqué dans la Ronce. Le *Fragaria vesca* présente aussi un faible développement fibreux dans la tige aérienne. Enfin, dans l'*Alchimilla vulgaris*, cet anneau de soutien n'est que très peu développé ou pas du tout dans la tige aérienne; chez les tiges très âgées on voit apparaître une seule assise de fibres à la périphérie du cylindre central.

3° *Liber mou et couche génératrice.* — Le liber mou est toujours peu développé dans la tige aérienne. Dans le *Geum urbanum*, le *Geum montanum*, les faisceaux sont fermés comme dans la Spirée. Il n'en est pas toujours ainsi. Chez l'*Alchimilla vulgaris*, où le liber mou forme un anneau continu, il existe une couche génératrice dans la partie aérienne, mais elle est peu active; elle devient plus importante dans l'*Agrimonia Eupatoria*; enfin, elle est assez bien indiquée dans la tige de Ronce. Les rhizomes des plantes précédentes présentent, au contraire, un très grand développement du liber mou résultant de la grande activité de la couche génératrice. Ce développement est surtout considérable dans le *Geum montanum*, le *Geum urbanum* et l'*Agrimonia Eupatoria*; le liber y présente encore la disposition en files radiales déjà signalée et qu'on retrouve souvent, il conserve l'agencement qu'il possède au moment de sa formation. Dans le *Fragaria vesca* et le *Potentilla verna*, le liber est bien développé, mais n'atteint pas le grand accroissement qu'on vient de constater pour les espèces précédentes. Enfin, l'épaisseur de ce tissu devient très faible chez l'*Alchimilla vulgaris*.

4° *Faisceaux du bois.* — La structure du tissu ligneux présente également une série de variations parmi les diverses Rosinées. Les faisceaux du bois sont séparés dans la tige aérienne et dans la tige souterraine du *Geum urbanum*; seulement, dans le rhizome, les très grands rayons médullaires qui les séparent ne sont pas lignifiés. La lignification, dans la partie souterraine de la tige, est très irrégulière dans les faisceaux eux-mêmes; on distingue, en effet, au milieu de l'épaisseur du faisceau, un arc où la lignification est presque complète, tandis qu'au delà et en deçà elle se produit uniquement dans les vaisseaux. Chez le *Fragaria vesca*, les faisceaux ligneux s'élargissent beaucoup, et les rayons médullaires deviennent plus irréguliers dans la partie souterraine. On constate également, dans le rhizome d'*Agrimonia Eupatoria*, la diminution des rayons médullaires, mais les faisceaux offrent beaucoup plus de régularité; ils sont presque entièrement

lignifiés. Enfin, dans l'*Alchimilla*, les faisceaux de la partie souterraine se rejoignent et forment un anneau continu.

5° *Augmentation de l'écorce et rapport de la moelle à l'écorce.*

— On retrouve encore l'augmentation de l'écorce dans la tige souterraine. Chez l'*Alchimilla vulgaris*, en passant de la partie aérienne à la partie située sous le sol, on observe une augmentation croissante de l'écorce. L'épaisseur de ce parenchyme cortical pour une tige aérienne étant représentée par 30 divisions micrométriques, pour une jeune pousse souterraine cette épaisseur est de 62 divisions; enfin, pour un vieux rhizome, elle atteint 77 divisions.

Voici d'ailleurs les nombres trouvés pour la moelle et l'écorce :

NOMS DES ESPÈCES.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Alchimilla vulgaris</i> ...	Ecorce.....	30	62
	Moelle... ..	170	220
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	5,6	3
<i>Potentilla verna</i>	Écorce.....	15	45
	Moelle	25	65
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	1,66	1,4

On voit donc que, dans les plantes de cette classe, non seulement le parenchyme cortical s'accroît, mais cet accroissement est manifeste aussi pour le tissu médullaire lorsqu'on passe de la tige aérienne à la tige souterraine. Malgré cela, on constate toujours que le rapport de la moelle à l'écorce est plus grand dans la tige aérienne que dans la tige souterraine.

III. On a vu naître dans l'endoderme une assise subéreuse; cette assise tend à se produire chez la Ronce, plus

rapidement dans une tige maintenue à l'air et à l'obscurité que dans une tige enterrée.

Ayant rapporté des extrémités enterrées de Ronce au mois de novembre, l'une d'elles fut abandonnée dans une boîte de botanique, où elle se développa à l'abri de la lumière ; la pousse émise par le tubercule possédait quatre entre-nœuds. Si l'on compare à cette tige une tige maintenue six mois sous le sol, on constate dans cette dernière un retard dans le développement de l'endoderme.

Dans la tige développée à l'obscurité, au deuxième entre-nœud, l'endoderme présente une curieuse localisation de grains d'amidon ; c'est la seule assise où cette substance se montre dans la coupe ; les ponctuations n'y sont pas visibles, il semble qu'elles disparaissent quand la réserve d'amidon se fait. Au troisième entre-nœud, la division de l'endoderme commence nettement ; au quatrième, l'endoderme est divisé en trois assises de cellules et une légère teinte jaunâtre colore les parois des cellules la formant, lorsqu'on traite la coupe par le chloro-iodure de zinc ; la subérine commence donc à apparaître. L'amidon, au contraire, a complètement disparu de cette couche, mais, par contre, il se montre en grande abondance dans les rayons médullaires et le liber.

La tige maintenue six mois sous le sol a pris un plus grand développement que la précédente, elle présente dix entre-nœuds. Lorsqu'on examine le cinquième entre-nœud de cette pousse, au mois de juin, on constate que l'endoderme possède une structure différente de celle qu'on observe au deuxième entre-nœud de la tige aérienne étiolée, les ponctuations s'y voient nettement, et au lieu d'amidon on distingue des gouttelettes huileuses. C'est seulement au septième entre-nœud qu'on voit apparaître les divisions qui se multiplient à partir de ce point assez vivement.

En résumé, il résulte de l'étude qui vient d'être faite des plantes de cette classe que :

Il tend à se produire, surtout dans les rhizomes, une couche

subéreuse très importante dans l'endoderme qui exfolie l'écorce primaire. 2° Il existe souvent, dans les tiges aériennes, un anneau de soutien considérable qui disparaît dans les tiges souterraines. 3° La couche génératrice libéro-ligneuse prend un grand accroissement dans les rhizomes. 4° Les faisceaux du liber résultant de son activité sont très développés dans ces derniers et ne présentent pas de fibres; les faisceaux du bois y offrent souvent une très grande irrégularité dans la lignification. 5° Il y existe, en général, de très grands rayons médullaires non lignifiés entre les faisceaux. 6° Le parenchyme cortical se développe beaucoup dans les tiges souterraines, mais le rapport de la moelle à l'écorce est plus petit que dans les tiges aériennes. 7° L'amidon existe dans les rhizomes.

GENOTHÉRÉES.

I. *Enothera suaveolens*. — Les vieux rhizomes de cette plante possèdent une structure rappelant celle qu'on vient de trouver dans plusieurs espèces de la classe précédente. A leur périphérie, on trouve, en effet, une couche subéreuse très importante; le liber est également très développé et formé de cellules empilées radialement les unes derrière les autres. Il existe d'énormes rayons médullaires incomplets séparant les faisceaux lignifiés très irrégulièrement; dans ces faisceaux on voit des vaisseaux formant de petits groupes autour desquels se montrent quelques cellules parenchymateuses lignifiées; cependant la région périphérique de ces faisceaux offre une lignification plus homogène.

Dans la tige aérienne, l'écorce est peu développée et les deux assises situées immédiatement au-dessous de l'épiderme sont collenchymateuses. L'endoderme n'est pas distinct dans la tige que j'ai eu l'occasion d'examiner; on constate seulement l'existence de petits groupes de fibres vraisemblablement libériennes; ces groupes sont d'ailleurs très rapprochés les uns des autres et formés d'une dizaine au plus d'éléments dont

la cavité est très réduite. En dedans de ces fibres, il naît une couche subéreuse très régulière formée de quatre ou cinq assises de cellules. Le liber mou forme un anneau complet mais peu important tout autour de l'anneau ligneux; il existe, en effet, un anneau ligneux très puissant et complet dans lequel on ne distingue pas de faisceaux ligneux bien isolés, séparés par des rayons médullaires; on voit seulement, sur le bord interne de l'anneau, des files radiales de vaisseaux assez larges, ces files sont isolées les unes des autres par du parenchyme non lignifié. On trouve un liber interne sur toute la périphérie de la moelle, formé de groupes de petites cellules et de fibres. Il est à remarquer que, tandis que les fibres externes ne se colorent pas par le sulfate d'aniline, ces dernières se colorent très nettement en jaune; ces fibres internes sont d'ailleurs isolées, tandis que les fibres externes sont groupées.

Lorsqu'on étudie le passage de la tige aérienne à la tige souterraine, on voit que la couche subéreuse multiplie beaucoup ses assises, et que bientôt toute la partie située en dehors d'elle se trouve exfoliée. En même temps l'anneau ligneux, qui était précédemment homogène, se différencie en deux régions : dans la région externe, les parois restent très lignifiées et très épaisses; dans la partie interne, la paroi diminue beaucoup d'épaisseur et la lignification est moins intense. On commence donc à distinguer la couche externe qui restera lignifiée dans le rhizome, tandis que la partie interne formera cette région dans laquelle les vaisseaux sont isolés par petits groupes au milieu de parenchyme non lignifié. On peut constater en même temps la réduction de la moelle qui s'accroît encore plus dans le rhizome.

Les autres plantes de cette famille présentent, comme on va le voir, des modifications semblables.

II. 1° *Accroissement de l'écorce.* — J'ai constaté cet accroissement très nettement dans le *Circaea lutetiana*. En effet, tandis que l'épaisseur du parenchyme cortical est de 48 divisions

micrométriques dans la tige aérienne, elle devient de 32 dans la partie souterraine.

2° *Couche subéreuse*. — La situation de la couche subéreuse n'était point nette dans l'*Enothera suaveolens*; elle est, au contraire, très facile à déterminer dans les autres plantes de cette famille. Si l'on examine la tige aérienne du *Circæa lutetiana*, on voit que le parenchyme cortical se termine par une assise très régulière de grandes cellules dans lesquelles on reconnaît nettement l'endoderme; tout contre cette assise se trouvent des fibres qui, dans la plante dont il s'agit, sont isolées et assez éloignées les unes des autres; il n'existe pas de couche subéreuse. Dans la partie souterraine, il n'y a plus de fibres, mais on voit immédiatement en dedans de l'endoderme une couche de cellules en voie de division, ayant déjà produit trois assises de cellules; ces cellules sont beaucoup plus petites que celles de l'assise endodermique qui est formée d'éléments très larges. Dans le rhizome de l'*Epilobium tetragonum*, un endoderme régulier termine un parenchyme cortical extrêmement développé; cette assise présente bien nettement les ponctuations ordinaires. En certains points, tandis que l'endoderme reste indivis, on voit naître une couche génératrice dans l'assise qui se trouve en dedans de l'endoderme; cette couche est très active déjà, et a produit quatre assises de cellules; cependant sa formation n'est pas encore bien régulière, car les divisions n'existent pas encore en un grand nombre d'autres points.

3° *Anneau libéro-ligneux*. — On trouve dans le *Circæa lutetiana* une structure de l'anneau ligneux semblable à celle de l'*Enothera suaveolens*. Il est, en effet, complet et on ne distingue point de faisceaux primaires; la production de vaisseaux a eu lieu sur toute la périphérie de la moelle en même temps. Le liber externe est peu développé et le liber interne est encore nettement reconnaissable; tous ces caractères se retrouvent dans la partie souterraine et dans la partie aérienne. Dans la tige souterraine, les fibres libériennes externes n'existent pas et le liber mou prend une plus grande importance.

Dans la tige aérienne et dans la tige souterraine, il n'y a pas de fibres dans le liber interne. On retrouve des caractères absolument semblables chez l'*Epilobium tetragonum*; le liber interne est surtout bien développé dans le rhizome de cette plante.

4° *Rapport de la moelle à l'écorce.* — Le *Circea lutetiana* présente une diminution très nette du tissu médullaire. Par conséquent, le rapport de la moelle à l'écorce est certainement plus grand dans la tige aérienne que dans la partie souterraine. On trouve, en effet, pour les épaisseurs de ces deux tissus :

NOMS DES TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	48	32
Moelle	170	130
Rapport de la moelle à l'écorce.	9	4

On constate donc, chez les Œnothérées, des modifications analogues à celles qui ont été déjà rencontrées et qui sont dues au milieu. *L'augmentation du parenchyme cortical, la réduction du rapport de la moelle à l'écorce, l'accélération du développement de la couche subéreuse, la lignification irrégulière dans le tissu ligneux et la disparition des fibres tant internes qu'externes dans le liber*, sont les caractères de la partie souterraine dus au milieu. On a trouvé, en outre, une très grande uniformité dans la structure des Œnothérées : l'existence d'une couche subéreuse naissant dans le liber, d'un anneau ligneux sans faisceaux primaires distincts, d'un liber interne; tels sont les caractères communs qui font de cette famille un groupe très homogène.

ARALIACÉES.

Adoxa Moschatellina. — L'étude complète de la tige florale et du rhizome de cette plante a été faite par M. Van Tieghem (1), aussi n'ai-je que peu de chose à ajouter. On sait que, dans la tige aérienne, il y a un cylindre central unique avec un endoderme commun, tandis qu'on observe dans la tige florale des faisceaux séparés, chacun d'eux étant entouré par un endoderme spécial. Ces deux structures diffèrent tellement qu'il est impossible d'attribuer de pareilles dissemblances au milieu.

J'ai examiné une tige florale qui venait s'insérer sur le rhizome après avoir traversé une certaine épaisseur de terre. La structure de la partie souterraine de cette tige est très différente de celle du rhizome, car les faisceaux sont encore isolés. Quoique la structure de la tige aérienne se maintienne dans cette région enterrée, l'influence du milieu est cependant nette. Les angles de la région aérienne tendent à disparaître dans la partie souterraine ; les faisceaux se rapprochent car la moelle est considérablement réduite, mais ils ne se confondent pas en un cercle comme dans le rhizome.

Enfin, j'ai observé une tige florale complètement enterrée qui avait produit des fleurs écrasées au voisinage du sol. On y retrouve encore la structure de la tige qui porte les organes de reproduction : les faisceaux libéro-ligneux sont très écartés et la présence de l'endoderme avec ses punctuations entourant complètement le faisceau est indiscutable.

Donc la tige florale est modifiée par le milieu : *les angles de la tige tendent à disparaître, la moelle se réduit*, mais les différences morphologiquement héréditaires entre la tige et le rhizome subsistent.

OMBELLIFÈRES.

I. *Sanicula europæa*. — La tige aérienne de cette plante (pl. VI, fig. 61) est anguleuse et sa section transversale est dentelée. Le collenchyme est très développé dans ces angles

(1) *Bulletin de la Soc. bot. de France* t. XXVI, p. 282.

de la tige, il se prolonge d'ailleurs entre les saillies dans les deux ou trois assises sous-épidermiques. La chlorophylle est accumulée en grande abondance dans les deux assises qui viennent immédiatement après, et seulement aux cannelures de la tige, de sorte qu'il existe des arcs de tissu chlorophyllien réunissant les groupes du tissu collenchymateux existant surtout aux angles. Le tissu de soutien est extrêmement développé, il forme un anneau dans lequel les faisceaux libériens sont enfermés; cet anneau se forme aux dépens des rayons médullaires et du tissu qui existe entre le liber et l'endoderme; on ne peut pas préciser, pour cette plante, ce qui appartient aux fibres libériennes et ce qui résulte de la transformation du parenchyme fondamental. La pointe interne des faisceaux du bois peut être entourée par un arc de cellules légèrement lignifiées.

La partie souterraine présente un parenchyme cortical terminé par une couche subéreuse importante mais assez irrégulière. L'anneau de soutien, qu'on observe dans la partie aérienne entre et autour des faisceaux, a complètement disparu, il n'existe même plus une fibre libérienne. Les faisceaux libéro-ligneux sont encore nettement isolés, ils sont séparés (pl. VII, fig. 62) par des rayons médullaires non lignifiés. La limite du liber mou n'est pas nette et l'endoderme n'est plus visible dans la tige âgée dont il s'agit. Les fibres ne manquent pas seulement dans le liber, elles sont également absentes du faisceau ligneux; le parenchyme qui entoure les vaisseaux ligneux ne s'est même pas lignifié (fig. 62, *b* et *pn*). La moelle est très réduite, tandis que le parenchyme cortical est très développé :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	4	50
Moelle.....	60	85
Rapport de la moelle à l'écorce.	15	1,7

Il est bien évident que la partie souterraine est plus âgée que la partie aérienne, mais les différences trouvées entre les deux régions de la tige ne sont certainement pas dues à l'âge, puisque c'est la partie jeune qui est plus différenciée. On a vu, non seulement que les cellules mécaniques disparaissent dans la tige souterraine, mais que dans le liber et le bois l'élément parenchymateux prend une grande importance, et que dans le faisceau ligneux la lignification ne se produit plus que dans les vaisseaux. En un mot, dans la partie souterraine, les cellules ne se différencient pas, et toute l'activité de leur protoplasma est employée à la formation de matières de réserve.

II. Je vais maintenant examiner les modifications que présentent ces deux parties de la tige dans quelques autres Ombellifères.

1° *Épiderme et couche subéreuse*. — Dans l'*Ænanthe crocata*, on constate, dans un rhizome déjà assez âgé, qu'il n'existe pas encore de couche subéreuse, l'épiderme est seulement noirâtre. Chez l'*Ænanthe fistulosa*, il se forme une couche subéreuse assez irrégulière vers l'extérieur dans le parenchyme cortical. Dans l'*Angelica pyrenæa*, cette couche est également assez importante.

2° *Écorce*. — Chez l'*Ænanthe fistulosa*, le parenchyme cortical prend un accroissement très considérable; tandis que son épaisseur est représentée par 7 divisions micrométriques dans la tige aérienne, cette épaisseur devient égale à 55 divisions dans la tige souterraine. C'est surtout dans la constitution des tissus qu'on observe des changements. La tige aérienne présente une série de saillies et la section en est dentelée. Dans chacune de ces saillies, l'assise sous-épidermique est collenchymateuse; en dedans de ce collenchyme, on trouve un groupe de fibres corticales jaunissant par le sulfate d'aniline; elles représentent donc un passage du collenchyme aux fibres. Le parenchyme cortical existant entre ces saillies offre une très grande quantité de chloro-

phylle dans les trois assises sous-épidermiques. On voit donc que le collenchyme des angles, signalé dans le *Sanicula*, s'est transformé en fibres à parois très épaisses et à cavité réduite. Dans la tige souterraine de cette plante, les faisceaux de fibres, le collenchyme et la chlorophylle ont disparu de l'écorce. On observe comme précédemment l'accroissement de l'écorce de l'*Ænanthe crocata* ; l'épaisseur est, en effet, de 46 divisions micrométriques dans le rhizome, tandis qu'elle n'est que de 6 divisions dans la tige aérienne. On constate, en outre, l'existence, dans le parenchyme cortical de ce rhizome, d'un certain nombre de canaux résineux qui se retrouvent également dans cette partie de la tige de l'*Angelica pyrenæa*.

3^e Anneau de soutien. — La tige aérienne de l'*Ænanthe fistulosa* présente un très grand développement des fibres de soutien. Les faisceaux ligneux sont réunis les uns aux autres par des fibres résultant de la transformation des rayons médullaires jusqu'à l'endoderme. Ces fibres dont les parois sont très épaisses et la cavité très faible sont de plus fortement lignifiées. Il existe, en outre de l'anneau ligneux précédent, des fibres libériennes adossées à l'endoderme, mais séparées de l'anneau ligneux par du liber mou. Le tissu de soutien n'entoure donc pas complètement le faisceau du liber ; il n'en est pas de même du faisceau du bois dont la pointe interne est enveloppée par des fibres. Dans la tige souterraine, il n'existe pas de fibres dans les rayons médullaires, ou dans le liber, tout ce tissu de soutien a disparu.

L'*Ænanthe crocata* présente à peu près la même structure ; la partie des rayons médullaires qui avoisine l'endoderme est transformée en fibres dans la partie aérienne ; ces fibres longent les faisceaux du bois latéralement, et intérieurement laissent le liber en dehors.

L'*Angelica pyrenæa* offre encore plus nettement cette structure : dans la tige aérienne, il existe une série d'arcs fibreux rejoignant les faisceaux ligneux, et tout l'ensemble forme un cercle très régulier ; en face de chaque faisceau du bois, le

liber, exclusivement mou, fait des saillies dans l'écorce, car il est tout à fait en dehors de l'anneau précédent. Dans le rhizome, les rayons médullaires sont parenchymateux et non lignifiés.

4° *Faisceaux libéro-ligneux*. — Les faisceaux libéro-ligneux de l'*Ænanthe crocata* offrent une singularité qui a été signalée depuis longtemps. Joachmann (1), Reichardt (2), etc., ont constaté qu'il y a des faisceaux libéro-ligneux dans la moelle des Ombellifères comme dans les Pipéracées. M. Duchartre (3) a montré que dans l'*Ænanthe crocata* la chose peut se compliquer par ce fait que la moelle se résorbe; on a dans la cavité médullaire des rubans contenant trois ou quatre faisceaux. Ce qu'il y a de curieux, c'est que la vitalité de ces faisceaux n'est pas affaiblie, qu'ils continuent à se développer plus que le reste de la tige, et qu'ils deviennent même sinueux. Les faisceaux libéro-ligneux médullaires que j'ai eu l'occasion d'observer n'étaient pas encore isolés; on voyait bien, dans l'échantillon, que les faisceaux étaient inverses, c'est-à-dire que le bois était à l'extérieur et le liber à l'intérieur. Je n'ai pas retrouvé ces faisceaux internes dans la partie souterraine de la même plante. Les faisceaux libéro-ligneux du rhizome jeune sont très réguliers; le liber sans fibres est bordé par un endoderme bien caractérisé, et une couche génératrice très nette existe entre et à l'intérieur des faisceaux; la lignification ne se produit pas dans les rayons médullaires, et, dans les faisceaux du bois, elle n'atteint que les vaisseaux ligneux.

Les faisceaux libéro-ligneux de l'*Ænanthe fistulosa* sont séparés, dans la tige souterraine, par de grands rayons médullaires non lignifiés; les faisceaux du bois sont assez homogènes et la lignification s'étend dans cette plante à tous les éléments des faisceaux. On constate l'existence, dans la moelle

(1) *De Umbelliferarum structura et evolutione nonnulla*, 1855.

(2) *Ueber das centrale Gefässbündel systems einiger Umbelliferen* (Sitzungsber. der. kais. Akad. der. Wiss., Vienne, 1856, t. XXI, p. 138).

(3) *Note sur une particularité observée dans l'Ænanthe crocata* (Bull. de la Soc. bot. de France, séance du 10 décembre 1869, t. XIV, p. 365).

du rhizome, de petits groupes de fibres disposées en cylindre autour d'un parenchyme mou et de vaisseaux ponctués, ce sont de petits faisceaux médullaires.

Le rhizome de l'*Angelica pyrenæa* montre des faisceaux libéro-ligneux séparés par de très grands rayons médullaires ; les faisceaux libériens n'ont pas de fibres, et les faisceaux du bois n'offrent de lignifié que les vaisseaux. Le parenchyme cortical est creusé de canaux résineux comme celui de la tige aérienne, mais ils sont beaucoup plus développés dans le rhizome. On observe dans le liber mou et les rayons médullaires un très grand nombre de canaux résineux.

5^e *Moelle*. — On constate encore la réduction du rapport de la moelle à l'écorce dans les tiges souterraines. Dans l'*Enanthe fistulosa* la moelle est même plus faible dans la partie souterraine que dans la tige développée au-dessus du sol.

La famille des Ombellifères présente donc surtout *une réduction très nette de l'appareil de soutien dans les tiges souterraines*.

SAXIFRAGÉES.

J'ai pu étudier l'an passé, dans le Tyrol, un certain nombre de Saxifrages alpines offrant de très grandes différences entre leurs parties aériennes et leurs parties souterraines.

I. *Saxifraga stellaris*. — Quand on compare le développement relatif de l'écorce et de la moelle dans cette plante, on trouve les nombres suivants :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce	18	55
Moelle	40	8
Rapport de la moelle à l'écorce.	2,2	0,14

Pendant que le parenchyme cortical triple d'épaisseur dans la tige souterraine, le diamètre de la moelle est réduit au cinquième de sa valeur.

L'endoderme de la tige aérienne est formé de cellules légèrement lignifiées à parois un peu épaissies, de façon à faire partie de l'appareil de soutien. Ce dernier appareil n'est pas très puissant, il forme un anneau complet à la périphérie du cylindre central, et les cellules qui le constituent sont très grandes. La taille de ces cellules est surtout incomparablement plus grande que celle des éléments des faisceaux du bois dont la pointe interne est entourée d'un tissu formé de très petites cellules en section transversale et non lignifiées; on ne voit point de fibres autour de ce dernier tissu. Au centre de la tige, on constate la résorption de la moelle, et les faisceaux peuvent même être légèrement en saillie dans la cavité médullaire.

Dans la tige souterraine, une couche subéreuse irrégulière limite le parenchyme cortical qui est très développé; le développement de ce tissu tient surtout à l'accroissement de volume des cellules externes, car la taille des cellules décroît beaucoup de l'extérieur vers l'intérieur. L'endoderme forme une assise de cellules aplaties et légèrement subérifiées. Mais la différence la plus saillante est due à la disparition complète de l'appareil de soutien. Les faisceaux libéro-ligneux étaient précédemment isolés, ils sont maintenant réunis; il existe un cercle ligneux dans lequel la lignification s'est produite irrégulièrement et les vaisseaux sont disséminés au milieu de parenchyme non lignifié.

L'étude de cette plante montre donc surtout le grand développement du parenchyme cortical et la disparition de l'anneau de soutien.

II. On retrouve dans le *Saxifraga aizoon* la même écorce très développée, la même moelle réduite dans la partie souterraine; le cylindre central de la tige aérienne de cette plante présente la même structure que celle qui a été décrite dans le *Saxifraga stellaris*. Le *Saxifraga aizoides* offre au-dessous de l'épiderme très cuticularisé de la tige aérienne, un tissu

collenchymateux peu important; l'endoderme est formé de très petites cellules lignifiées; enfin l'anneau de soutien existe également chez cette plante, mais les faisceaux ligneux sont beaucoup plus développés dans cette espèce que dans les précédentes. La partie souterraine présente les mêmes caractères que la première Saxifrage étudiée.

En résumé, on trouve dans les plantes de cette famille l'influence très nette du milieu par les différents caractères suivants des rhizomes :

1° L'augmentation du parenchyme cortical; 2° la disparition de l'anneau de soutien; 3° la lignification irrégulière dans les faisceaux du bois; 4° la réduction du rapport de la moelle à l'écorce.

CRASSULACÉES.

La tige souterraine du *Sempervivum montanum* offre une structure curieuse qui est peu en rapport avec ce qu'on trouve dans la tige aérienne. Il existe d'abord, à la périphérie de cette tige développée sous le sol, une couche subéreuse très importante naissant dans l'assise sous-épidermique; car l'épiderme est encore visible en certains points, et porte une série de poils très grands. Le parenchyme cortical, qui se présente ensuite, est extrêmement épais; un certain nombre de ses cellules offrent un contenu très dense, granuleux, brunâtre. La limite du parenchyme cortical n'est pas bien nette, l'endoderme n'est pas visible et le liber est exclusivement mou. Le bois forme deux arcs tendant à se rejoindre, il constitue donc un anneau qui englobe une moelle très réduite. Dans la tige aérienne, le parenchyme cortical est beaucoup plus restreint, tandis que la moelle prend un accroissement très net. Enfin, l'anneau ligneux est complet et les éléments de cet anneau sont à paroi beaucoup plus épaisse; la lignification est plus avancée.

En somme, on voit qu'il existe dans cette plante, une couche subéreuse importante dans la partie souterraine à la périphérie d'une écorce très développée; on constate en outre que le tissu médullaire y est très réduit.

CARYOPHYLLÉES.

1. *Lychnis dioica*. — La comparaison de la tige aérienne à la tige souterraine du *Lychnis dioica* permet de constater un fait intéressant. Dans cette plante, on voit se substituer à l'appareil de soutien de la première un tissu de protection dont la seconde a besoin.

Il existe, en effet, dans la partie développée au-dessus du sol un anneau de fibres tout à fait singulier; lorsqu'on examine les plantes où cet anneau est bien formé, au premier aspect il semble être produit par la transformation du parenchyme cortical (pl. V, fig. 57). La cavité et le volume de ces cellules lignifiées augmentent beaucoup vers la partie la plus interne. Le liber mou est formé, du côté du bois, de très petites cellules; dans sa région externe, ce tissu se modifie et devient collenchymateux. Le tissu ligneux forme un anneau tout autour de la moelle et ne présente pas de traces de faisceaux primaires qui proéminent dans cette dernière partie; ce tissu est formé de files radiales de vaisseaux séparées entre elles par du parenchyme ligneux offrant tangentiellement une cellule d'épaisseur. La moelle est presque complètement résorbée, et la cavité qui existe au centre de la tige est considérable; il ne reste de ce tissu que des cellules épaisses non lignifiées, collenchymateuses, à la limite interne de l'anneau ligneux. L'examen de la tige précédente laisse un doute sur l'origine de cet anneau fibreux qui existe à la périphérie de la tige. Lorsqu'on fait des coupes dans une tige très jeune (fig. 60), on arrive bientôt à trouver des points où l'anneau n'est pas encore formé; il devient alors très visible que la couche de fibres a été formée en dedans de l'endoderme. Il s'est constitué, entre l'assise précédente et le liber mou, un tissu tout particulier, formé de grandes cellules collenchymateuses qui se distinguent entièrement du liber. Il s'est donc produit, chez cette plante, une multipli-

cation du tissu fondamental ce qui s'observe fréquemment, ainsi qu'on l'a déjà vu, pour d'autres familles, entre le liber et l'endoderme.

Lorsqu'on étudie le passage de la partie aérienne à la partie souterraine, on constate des transformations dans les tissus montrant bien l'influence du milieu. Le premier effet, dû au séjour sous le sol, est l'augmentation du parenchyme cortical extérieur à l'anneau fibreux. En même temps que le parenchyme cortical augmente, l'anneau fibreux diminue considérablement d'épaisseur. La réduction devient bientôt si importante, que l'anneau se fragmente en un certain nombre d'arcs séparés les uns des autres (fig. 58). Le sulfate d'aniline montre même que la lignification ne s'étend plus à certaines cellules qui ont absolument la forme, le diamètre et l'épaisseur de cellules qui sont lignifiées (fig. 58, *b*). Pendant que cette modification s'opère, on constate que les cellules collenchymateuses, qu'on observe à l'intérieur de fibres lignifiées subsistant encore, se divisent presque toutes. Enfin, lorsqu'on examine des tiges qui sont restées plus longtemps sous le sol, on voit naître à la place où existait l'anneau fibreux, une couche génératrice subéreuse très régulière. En même temps que la subérine se montre dans les assises externes de la couche génératrice précédente, on remarque qu'elle envahit tout le parenchyme cortical (fig. 59). L'écorce est alors formée de cellules mortes, et elle ne tarde pas à être exfoliée; dans les tiges souterraines âgées, on trouve donc à la périphérie une couche subéreuse qui est venue remplacer l'anneau fibreux dont on ne trouve plus de traces.

On vient de voir quelles transformations curieuses se produisent à la périphérie de la tige; pendant ce temps, l'assise génératrice cambiale développe beaucoup les faisceaux du bois, les faisceaux du liber restent moins importants. La lignification se produit très irrégulièrement dans les premiers; les vaisseaux lignifiés sont entourés de tous les côtés d'un parenchyme dont les parois ne s'incrustent pas de lignine. La moelle ne suit point le développement de toutes les

parties externes, car son diamètre reste relativement faible.

En résumé, cet exemple met nettement en évidence :

1° La substitution, au tissu de soutien de la partie aérienne, d'un tissu de protection dans la partie enterrée ;

2° La lignification irrégulière dans les éléments du faisceau ligneux.

II. — On trouve quelques modifications à la structure précédente chez d'autres plantes de la même famille.

1° *Anneau de soutien et couche subéreuse*. — L'anneau de soutien est plus puissant dans le *Silene inflata* que dans l'espèce dont il vient d'être question ; les fibres de la périphérie ont une cavité très réduite et une paroi extrêmement épaisse. Comme chez cette plante les faisceaux libéro-ligneux sont isolés, on voit les fibres dont il s'agit s'avancer un peu dans la partie externe des rayons médullaires ; on reconnaît, dans ce cas, que les faisceaux libéro-ligneux sont indépendants de l'anneau de fibres, qui est formé par une différenciation du tissu fondamental.

Dans le *Dianthus Carthusianorum*, l'anneau est très épais et beaucoup plus homogène ; les fibres ne font pas de pointes vers la moelle, car les faisceaux ligneux forment un cercle complet.

Le *Saponaria officinalis* présente une particularité très singulière. On observe deux régions dans l'anneau fibreux : dans la partie externe, on trouve les fibres ordinaires dont la cavité est très large, quoique l'épaisseur de la paroi soit très grande ; dans la région interne, on voit des cellules tabulaires empilées les unes sur les autres dans le sens radial, absolument comme dans une couche génératrice subéreuse, seulement les parois de ces cellules sont épaisses et très lignifiées, on constate même que quelques-unes sont ponctuées. Cet exemple montre l'existence simultanée des fibres ordinaires et de la couche subéreuse dans l'anneau fibreux ; mais cette dernière couche, au lieu de s'imprégner de subérine, s'est lignifiée ; la lignification une fois produite, le rôle a été complètement changé et l'appareil de protection, qui se serait

constitué dans une partie souterraine, est devenu ici un tissu de soutien dans lequel les ponctuations ont apparu. En somme, la couche subéreuse, qui s'était produite hâtivement dans la tige aérienne, a été arrêtée dans son développement et radicalement transformée.

Dans la partie souterraine des plantes précédentes le parenchyme cortical est exfolié et il existe à la périphérie de la tige une couche subéreuse importante. J'ai eu l'occasion de voir nettement dans le rhizome de *Cerastium alpinum* la naissance de cette couche subéreuse : dans cette plante, le parenchyme cortical n'est pas exfolié et l'endoderme est légèrement subérifié ; à l'intérieur de cette dernière assise, il se forme une couche génératrice dont le développement est encore faible car elle n'a produit que trois assises de cellules ; c'est donc dans l'assise périphérique que la couche subéreuse prend naissance ; les cellules de cette assise alternaient avec celles de l'endoderme, on peut encore le constater malgré leur division.

2° Bois. — Les faisceaux libéro-ligneux du *Silene inflata* sont séparés, dans la tige aérienne, par des rayons médullaires peu importants ; la même disposition ne se présente pas dans la partie souterraine où le tissu ligneux forme un anneau complet. La structure du bois est très spéciale dans ce dernier cas ; il existe d'abord, à la limite interne de cet anneau, un parenchyme peu important entre la moelle et les trachées, ce parenchyme n'est pas ligneux ; immédiatement après se trouve un anneau de tissu presque complètement lignifié, les vaisseaux, le parenchyme et les fibres étant imprégnés de lignine ; à cet anneau il en succède un autre dans lequel les fibres ligneuses sont absentes et les vaisseaux seuls sont lignifiés. On trouve ainsi successivement quatre anneaux presque entièrement lignifiés, alternant avec trois anneaux dans lesquels les vaisseaux seuls ont subi la lignification.

Le *Dianthus Carthusianorum* possède un anneau ligneux complet dans la tige aérienne comme dans la partie souterraine ; la lignification, dans cette dernière, est beaucoup plus irrégulière que chez le *Silene inflata*, on distingue seulement

au milieu de l'anneau une région dans laquelle la lignification a atteint tous les éléments; en deçà et au delà les vaisseaux sont lignifiés. Le *Saponaria officinalis* montre aussi bien dans la tige aérienne que dans la tige souterraine un anneau très important, entièrement lignifié; le tissu ligneux de cette plante rappelle celui des Œnothérées; on voit, en effet, des files radiales de vaisseaux spiralés s'avancer vers la moelle.

3° *Moelle*. — Le tissu médullaire ne suit pas le développement des faisceaux libéro-ligneux, en effet, la moelle est très réduite.

Voici un tableau comparatif du développement de la moelle, de l'anneau ligneux et de l'écorce :

NOMS D'ESPÈCES.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Lychnis dioica</i>	Écorce.....	6	20
	Moelle.....	100	50
<i>Silene inflata</i>	Écorce.....	5	»
	Anneau ligneux.	5	70
	Moelle.....	62	60
<i>Dianthus Carthusianorum</i> .	Anneau ligneux.	4	70
	Moelle.....	80	45

On trouve donc bien une diminution du tissu médullaire relativement aux autres tissus dans les tiges enterrées.

La moelle offre une singularité dans le *Silene inflata* : elle se lignifie considérablement dans la partie souterraine, ses parois s'épaississent et des ponctuations s'y montrent; le tissu médullaire de la tige aérienne n'est pas lignifié, il est d'ailleurs résorbé en grande partie. On ne retrouve pas dans les autres tiges souterraines cette modification de la moelle.

En résumé, cette famille montre surtout *la substitution, à l'anneau fibreux de la tige aérienne, d'une couche subéreuse dans la partie souterraine.*

URTICACÉES.

Urtica dioica. — Lorsqu'on arrache, au mois de février, de jeunes tiges aériennes de cette plante, on constate que la tige souterraine vient s'insérer latéralement sur une vieille tige dont il reste un tronçon au-dessus du sol; en déterrante cette dernière, on entraîne avec elle une série de jeunes tiges aériennes de même génération que la première qui sont nées très près les unes des autres, de sorte que l'ensemble forme une sorte de corbeille dont la tige mère occupe l'axe.

Chez la plante que j'ai étudiée, une branche, partant du tronçon mort, s'élevait obliquement dans le sol dont elle sortait; un peu plus loin, par un hasard de la disposition du sol en cet endroit, la tige était rentrée en terre d'où elle sortait de nouveau un peu après (pl. VI, fig. 63). Cette disposition m'a permis de bien mettre l'influence du milieu en évidence.

L'extrémité (fig. 63, *a*) du rameau qui est rentré sous terre présente des modifications immédiates de structure. L'irrégularité avec laquelle elles se produisent permet de saisir les transformations en voie d'accomplissement. L'épiderme surtout change sans uniformité; on peut y distinguer, en effet, trois sortes de cellules qui sont mélangées sans ordre. Les unes sont les anciennes cellules de l'épiderme non modifiées, elles présentent encore leur cuticule; d'autres, plus nombreuses, sont subérifiées sans qu'il y ait de couche subéreuse; enfin les dernières sont subérifiées et il existe des cellules génératrices en dessous d'elles, qui en se divisant produisent trois et quatre cellules empilées dans le sens radial; on voit que les cellules externes seules se colorent en rouge par la fuchsine. Le parenchyme cortical présente sept ou huit assises de cellules. Les faisceaux du bois sont assez développés et reliés entre eux par des arcs de parenchyme ligneux qui sont formés

de deux ou trois assises de cellules. Ces faisceaux sont en saillie sur cet anneau ligneux et s'avancent vers le liber; cette disposition tient à ce que l'assise génératrice cambiale produit en face des faisceaux du bois des cellules qui se transforment en vaisseaux, tandis qu'elles ne se lignifient pas en face du parenchyme ligneux.

Dès que la tige sort de terre (fig. 63, *b*), quoique cette partie soit plus âgée, le parenchyme cortical diminue; il n'offre plus, en effet, que quatre ou cinq assises de cellules, tandis que la partie souterraine précédente en a sept ou huit. Les fibres libériennes, qui se montrent en petit nombre dans la coupe précédente, deviennent tout de suite beaucoup plus nombreuses.

Si l'on examine maintenant le milieu de la partie rampante (fig. 63, *c*), on reconnaît déjà, mieux accusée, la structure de la tige aérienne. L'épiderme est seulement cuticularisé (fig. 64), l'écorce présente du collenchyme dans ses deux assises externes et le parenchyme cortical est peu développé, l'endoderme n'est pas reconnaissable. Les fibres libériennes existent en assez grand nombre devant chaque faisceau ligneux; le tissu ligneux est, en effet, formé de faisceaux bien développés, reliés entre eux par des arcs de parenchyme lignifié s'insérant à peu près au milieu des faisceaux. Quant au développement de la moelle, il est inverse de celui de l'écorce; la moelle a pris ici un très grand accroissement et elle commence à se dissocier au centre.

Si l'on coupe la tige complètement enterrée à son point d'insertion sur la branche mère (fig. 63, *d*), par conséquent à une faible distance du point *c*, on trouve des différences profondes montrant encore l'influence immédiate du milieu. 1° L'écorce est exfoliée et il y a une assise subéreuse puissante à la périphérie de la tige (fig. 66, *cs*); 2° les fibres libériennes sont moins nombreuses que dans la coupe précédente, tandis que le liber mou est, au contraire, beaucoup plus important (fig. 66, *fl* et *l*); 3° les faisceaux du bois sont très développés et reliés entre eux par deux anneaux de paren-

chyme lignifié (*pl*); entre ces anneaux, il existe un parenchyme formé de cellules dont la paroi n'est pas imprégnée de lignine (*pn*); 4° la moelle est très réduite, elle était mesurée, dans la coupe précédente, par 141 divisions micrométriques, tandis que 67 divisions représentent maintenant son épaisseur.

En étudiant le passage de l'avant-dernière coupe à la dernière, on voit le parenchyme cortical augmenter et le collenchyme disparaître; l'accroissement de l'écorce tient à la fois à l'augmentation de volume des cellules et à leur multiplication. Il naît assez profondément dans le parenchyme cortical une couche subéreuse (fig. 65). La subérine envahit très irrégulièrement l'écorce; elle peut même avoir atteint, en certains endroits, la couche subéreuse et n'être point visible en un point immédiatement à côté. Un peu plus bas, l'écorce s'exfolie irrégulièrement, et finit par disparaître entièrement. Les fibres libériennes diminuent rapidement dès qu'on pénètre sous le sol, et la couche libéro-ligneuse prend un accroissement considérable. La moelle change également de diamètre dès qu'on entre sous le sol, elle passe presque brusquement d'une épaisseur de 141 divisions micrométriques à 104.

En somme, cette étude conduit à plusieurs résultats qu'il est important de noter. Si l'on n'avait fait que comparer les parties aériennes et souterraines, leurs structures sont tellement dissemblables qu'elles ne permettraient guère de tirer des conclusions relativement à l'influence du milieu. En étudiant le passage de l'une de ces régions de l'axe à l'autre, on a pu retrouver les changements qui s'effectuent aux points où le milieu change de nature : *une augmentation de nombre et de volume des cellules du parenchyme cortical, une diminution inverse et réciproque de la moelle, l'accélération dans la formation d'une couche subéreuse, la diminution des fibres libériennes.*

L'étude de l'extrémité enterrée a permis, en outre, de constater d'autres faits. On a vu des modifications s'opérer dans les tissus de protection, *une couche subéreuse irrégulière s'ébaucher à la périphérie de l'écorce*, tandis que la couche subéreuse normale naît bien plus profondément.

RENONCULACÉES.

1. *Anemone nemorosa*. — Le parenchyme cortical de la tige aérienne de cette plante est séparé du tissu médullaire par une assise de cellules légèrement lignifiées (pl. VI, fig. 67). Cette assise (*end*) est assez irrégulière; en certains points, le cercle s'interrompt, car la lignification n'a pas atteint toutes les cellules; l'irrégularité tient, en outre, à ce qu'en d'autres endroits la lignification se manifeste, au contraire, dans les cellules voisines de cette assise. Ce cercle de cellules lignifiées passe derrière les fibres libériennes, il occupe la position de l'endoderme. Les faisceaux libéro-ligneux sont isolés les uns des autres et à des états divers de développement; les plus avancés dans leur évolution offrent des fibres libériennes (*l*) adossées à l'assise précédente, dont les cellules sont d'ailleurs beaucoup plus petites en cet endroit. A la pointe interne du faisceau ligneux, on trouve, comme cela arrive presque toujours, un tissu non lignifié formé de très petites cellules.

A la place de l'épiderme légèrement cuticularisé de la tige aérienne, on trouve dans le rhizome (fig. 68 et 69) une assise de cellules dont les parois externes surtout sont imprégnées d'une matière brun noirâtre qui se rencontre dans les tissus subérifiés (*ep*); cette partie souterraine offre de plus un très grand développement du parenchyme cortical dans lequel il se produit une très grande quantité d'amidon qui se retrouve dans tous les tissus parenchymateux. Chez le jeune rhizome, dont il est question en ce moment, on ne distingue pas, comme dans la tige aérienne, le cercle de cellules lignifiées; on ne voit pas d'endoderme, il n'y a pas de limite entre le parenchyme cortical et le tissu médullaire. Les faisceaux libéro-ligneux sont groupés par deux ou trois, et ces groupes sont séparés entre eux par de larges espaces de parenchyme fondamental. Dans chaque groupe, les faisceaux libéro-ligneux sont nettement isolés les uns des autres; ils sont entourés par une assise de cellules régulières seulement dans la région

externe, mais les ponctuations qui caractérisent l'endoderme ne sont pas visibles. Ces faisceaux sont encore très dégradés; le liber (fig. 68, *l*), peu développé, est exclusivement mou; quant au faisceau du bois, il est formé par une dizaine de vaisseaux (*b*) isolés au milieu d'un parenchyme non lignifié. Le tissu médullaire et le tissu cortical peuvent présenter des fibres (*fc*) qui manquent dans les faisceaux libéro-ligneux, ces cellules ont leurs parois très épaisses, très lignifiées, elles sont très peu allongées longitudinalement. On constate encore, dans cette plante, une réduction du rapport de la moelle à l'écorce dans la tige enterrée. On a, en effet, comme épaisseur de ces deux parties :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	44	50
Moelle.....	90	125
Rapport.....	8	2,5

Dans les parties beaucoup plus âgées du rhizome, la structure précédente se modifie. Il se produit d'abord une couche subéreuse à la périphérie de l'écorce; le parenchyme cortical prend un développement de plus en plus grand. En même temps, l'endoderme apparaît (fig. 69, *end*); on trouve dans le parenchyme cortical contre cet endoderme des canaux résineux qui existent en face de chaque faisceau libéro-ligneux; les cellules de l'endoderme font partie des cellules bordant la cavité de ces canaux et ont concouru à leur formation; il peut y avoir soit un, soit deux canaux en face de chaque faisceau. L'assise endodermique se montre avec ses plissements aussi nettement devant les faisceaux qu'entre eux; aussi le parenchyme cortical est-il maintenant tout à fait séparé du tissu médullaire. Les faisceaux libéro-ligneux se sont également un peu développés; il existe entre le bois et le liber une couche génératrice (*cg*), mais l'activité de cette couche est

très faible et augmente très peu ces deux tissus. Malgré cela, cette couche existe, et M. Vaupell (1) a commis une légère erreur en citant cette plante comme ne présentant pas de formations secondaires. Les fibres libériennes ne se forment point, et les vaisseaux seuls se lignifient dans le faisceau du bois. Il est à remarquer qu'il se produit, autour de ces faisceaux libéro-ligneux, un léger tissu collenchymateux constituant un appareil de soutien très dégradé; cet anneau, formé aux dépens du parenchyme fondamental, passe entre le liber et l'endoderme; il y a donc, dans ce cas, entre l'endoderme et le liber, un groupe de cellules faisant partie du tissu fondamental (2). Il faut ajouter que les faisceaux libéro-ligneux sont bien plus nombreux.

Malgré ces modifications, on voit, par l'examen comparé des deux parties du rhizome, que la structure se modifie peu avec l'âge dans la partie souterraine. Le séjour de cette partie de l'axe sous le sol ralentit donc extrêmement la vitalité des cellules; ce ralentissement s'accuse surtout par la faible activité de la couche génératrice libéro-ligneuse qui met plusieurs années à modifier légèrement l'épaisseur des faisceaux du liber et du bois. Dans ce rhizome, les cellules ne peuvent pas se lignifier pendant un laps de temps si long, tandis qu'il suffit de quelques semaines au pédoncule floral pour produire des faisceaux ligneux assez développés, des fibres libériennes et un cercle de cellules lignifiées à la périphérie du cylindre central.

En résumé, on trouve dans la partie souterraine les caractères suivants :

1° Un épiderme très subérifié ou une couche subéreuse servant de tissu de protection.

(1) Voy. plus haut, p. 12.

(2) Il faudrait donc appeler les fibres de la tige aérienne d'un autre nom que fibres libériennes; mais il est difficile de changer la nomenclature dans un cas comme celui-ci, où les fibres existent seulement en face des faisceaux libéro-ligneux.

2° Le parenchyme cortical se développe beaucoup; il s'y produit des canaux résineux.

3° L'endoderme, lignifié dans la partie aérienne, a des ponctuations nettes dans un rhizome très vieux.

4° Les fibres libériennes n'existent pas.

5° Le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible que dans la tige aérienne.

6° L'amidon s'y trouve en très grande abondance.

Remarque. — On a vu que le rhizome jeune présente une structure assez différente de celle du rhizome âgé. Il peut donc être utile de comparer le pédoncule floral jeune au pédoncule floral âgé. En outre, ce pédoncule a une partie souterraine qui, dans certains individus, peut devenir importante. Il y a quelque intérêt à savoir ce que devient la structure du pédoncule dans cette partie enterrée.

Si l'on examine un jeune pédoncule floral, on voit que les faisceaux libéro-ligneux qu'il présente sont absolument isolés; on n'aperçoit point d'endoderme ainsi que dans la partie jeune du rhizome. Lorsque l'on compare la partie aérienne à la portion souterraine du même pédoncule, on voit que, dans la partie aérienne, le cercle des faisceaux est très élargi, grâce à la dilatation de la moelle et au faible développement de l'écorce; l'anneau ligneux endodermique manque encore; les fibres libériennes sont déjà différenciées, leurs parois sont épaissies, mais la lignification ne s'est pas encore produite. Dès qu'on pénètre dans la partie souterraine l'écorce augmente, la moelle diminue et les fibres libériennes disparaissent.

On voit donc que les variations de structure qui se produisent avec beaucoup d'intensité dans le rhizome, sont déjà nettement indiquées dans la région souterraine du pédoncule floral.

Je vais examiner maintenant plus succinctement diverses espèces offrant une organisation différente de la précédente.

II. *Actæa spicata*. — La partie aérienne de cette plante diffère complètement de la partie souterraine. L'écorce est d'abord bien plus développée dans cette dernière région. Dans la tige aérienne, la moelle ne communique pas avec le parenchyme cortical, comme cela se produit dans la partie enterrée; en effet, il existe un anneau ligneux séparant ces deux régions, tandis que, sous le sol, la tige ne présente pas un pareil tissu de soutien. Cet anneau, qui relie les bords externes des faisceaux, est formé de plusieurs assises de cellules à parois lignifiées, mais peu épaissies.

Il existe des différences aussi saillantes entre les faisceaux. Dans la tige aérienne, les faisceaux sont de deux tailles : les premiers sont très grands et s'avancent beaucoup dans la moelle, ils forment un cercle interne de faisceaux; le cercle externe est constitué par les seconds dont la taille est beaucoup plus faible. La pointe interne des grands faisceaux reste libre, tandis que les petits sont entourés de fibres de tous les côtés. Chaque faisceau, grand ou petit, présente, dans sa région externe, un groupe de nombreuses fibres libériennes très épaissies, et le liber mou, étant toujours entouré de fibres de soutien, forme un ilot blanc se détachant sur le bois et les fibres colorées fortement en jaune par le sulfate d'aniline. On voit donc que la disposition des faisceaux sur deux cercles, le grand développement des cellules mécaniques, la nature des faisceaux, qui sont fermés, rappellent la structure des tiges de Monocotylédones.

Les faisceaux de la tige souterraine diffèrent complètement de ceux-ci : par leur taille, car ils sont tous égaux; par leur disposition, car ils ne présentent qu'un seul cercle; mais surtout par la réduction des fibres libériennes, car il n'existe plus que des arcs fibreux très peu importants. Dans les faisceaux du bois, le parenchyme ligneux et les fibres ligneuses sont bien développés. L'amidon s'accumule presque partout dans le rhizome, dans la moelle, les grands rayons médullaires, l'écorce, le parenchyme ligneux.

En résumé, l'anneau de soutien a disparu, les fibres libé-

riennes sont moins nombreuses, l'amidon est très abondant, tels sont les principaux caractères de la partie souterraine de cette plante.

III. *Ranunculus Chierophyllos*. — La structure du *Ranunculus Chierophyllos* est intermédiaire entre celle de deux espèces étudiées précédemment. La tige aérienne présente un seul cercle de faisceaux libéro-ligneux, mais il existe un anneau de soutien reliant les faisceaux entre eux et contournant même leur pointe interne; les cellules formant cet anneau sont à cavité large, à parois lignifiées; elles résultent évidemment de la transformation du tissu fondamental.

La tige souterraine, renflée, porte des racines qui se tubérisent au voisinage de leur point d'insertion sur la tige précédente. Cette tige, hérissée de longs poils, rappelle par sa structure l'organisation des jeunes rhizomes d'*Anemone nemorosa*. En effet, on trouve le même développement du parenchyme cortical, le même isolement et la même réduction des faisceaux, enfin, l'amidon s'y accumule en grande quantité. Les faisceaux libériens ne présentent pas de fibres, et les faisceaux ligneux n'offrent que des vaisseaux spiralés et ponctués et du parenchyme non lignifié. On a trouvé, chez l'Anémone, quelques fibres disséminées çà et là dans l'écorce et le parenchyme cortical; chez la plante qui nous occupe, ces fibres prennent beaucoup plus d'importance. Dans la moelle, il se forme des groupes très importants de fibres lignifiées contre les faisceaux du bois; au centre de la tige, on remarque aussi un groupe considérable de fibres orientées dans toutes les directions et s'enchevêtrant les unes dans les autres d'une façon inextricable. Enfin, les fibres se montrent également dans le parenchyme cortical, dirigées dans le sens du rayon. L'épiderme de cette plante est très curieux, il présente un certain nombre de poils très allongés dont la paroi est extrêmement épaissie et la cavité réduite; le sulfate d'aniline colore toute leur membrane en jaune foncé, ils sont donc très lignifiés; toutes les cellules épidermiques ne se transforment

pas en poils; celles qui n'en offrent point sont encore lignifiées sans être épaissies (1).

Il peut donc se former au milieu des tissus parenchymateux des rhizomes, des groupes de fibres isolées; on a vu ces éléments apparaître dans l'*Anémone nemorosa*, ils augmentent dans le *Ranunculus Chærophyllus*; malgré cela, il n'existe pas un appareil de soutien homogène.

IV. J'ai retrouvé à peu près la même organisation dans plusieurs autres Renonculacées. Je vais en décrire succinctement les modifications.

1° *Développement du parenchyme cortical.* — Le parenchyme cortical prend un grand développement dans la partie souterraine. Ainsi dans le rhizome de l'*Anemona alpina*, l'épaisseur de la région est de 120 divisions micrométriques, tandis qu'elle n'est que de 15 dans la tige aérienne. Dans l'*Aconitum Napellus*, le développement considérable de l'écorce tient surtout à l'accroissement très important du diamètre des cellules de la périphérie; le diamètre des cellules diminue, en effet, dans le voisinage des faisceaux libéro-ligneux.

2° *Couche subéreuse.* — Je n'ai constaté la présence d'une couche subéreuse que dans les tiges souterraines; elle ne se forme que dans les rhizomes âgés et n'est ni aussi régulière, ni aussi puissante que celle qu'on retrouve dans un grand nombre de plantes d'autres familles. Elle est très irrégulière dans l'*Anemona alpina* et dans le *Trollius europæus*; elle est plus puissante et formée d'assises mieux ordonnées en files radiales dans l'*Aquilegia vulgaris*.

3° *Anneau de soutien.* — Cet anneau existe dans les tiges aériennes de cette dernière plante. Il ressemble à celui de l'Actée, mais au lieu de présenter des fibres beaucoup plus petites en face des faisceaux libéro-ligneux, l'anneau de soutien de l'*Aquilegia vulgaris* est homogène, la cavité des cel-

(1) J'ai retrouvé à la périphérie de la racine de cette plante des cellules lignifiées à parois très épaissies, à cavité réduite, mais ne présentant pas ces espèces de poils-fibres.

lules est à peu près la même sur toute la périphérie du cylindre central. Les faisceaux libéro-ligneux sont rejetés, dans cette plante, bien plus à l'intérieur de la tige, et l'anneau envoie des prolongements fibreux vers les fibres libériennes. Dans la partie souterraine, cet anneau disparaît en entier.

4° *Faisceaux libéro-ligneux*. — Les faisceaux libéro-ligneux sont toujours séparés, dans les parties souterraines des plantes étudiées, par de très grands rayons médullaires non lignifiés. Dans le *Trollius europæus*, l'*Aconitum Napellus*, le développement des faisceaux est extrêmement faible, les fibres libériennes manquent; cependant la couche génératrice libéro-ligneuse est bien indiquée dans cette dernière plante. Les faisceaux sont plus développés dans l'*Anemone alpina*. Enfin ils s'allongent considérablement dans la base souterraine de la tige de l'*Aquilegia vulgaris*, car la couche génératrice cambiale fonctionne avec activité; la lignification se produit seulement dans les vaisseaux chez cette plante comme chez l'Anémone alpine; le parenchyme non lignifié qui entoure les vaisseaux produit alors de l'amidon qui existe d'ailleurs dans tous les tissus parenchymateux.

V. *Passage de la partie aérienne au rhizome*. — J'ai étudié le passage de la tige aérienne à la partie souterraine du *Thalictrum minus*. Il existe des différences considérables entre ces deux régions.

On constate que cette plante possède la plupart des caractères indiqués précédemment. 1° On trouve à la périphérie du rhizome une couche subéreuse ayant exfolié le parenchyme cortical (pl. VII, fig. 73, *cs*), tandis que l'épiderme de la tige aérienne est cuticularisé. 2° L'anneau de fibres, existant à la périphérie du cylindre central de cette dernière région (pl. VI, fig. 70, *af*) disparaît entièrement dans la partie souterraine, il ne reste que quelques fibres libériennes en face de chaque faisceau du bois (fig. 73, *fl*). 3° Les faisceaux sont sur plusieurs cercles dans une tige (fig. 70) et sur un seul cercle dans l'autre (fig. 73). 4° La lignification est irré-

gulaire dans le faisceau du bois du rhizome, mais il se produit à la pointe interne un groupe important de fibres très lignifiées (fig. 73, *f*). 5° La moelle est très réduite dans le rhizome, elle est très développée et résorbée au centre dans la partie de la tige qui se trouve au-dessus du sol.

La structure de la tige aérienne rappelle donc beaucoup celle des Monocotylédones; ce rapprochement a d'ailleurs déjà été fait pour l'*Actée*.

L'étude du passage de la tige aérienne au rhizome met nettement en évidence l'influence du milieu. Le premier effet du séjour sous le sol est de multiplier les cellules de l'écorce (pl. VI, fig. 71, *pc*); pendant cette première période, le cylindre central garde sa structure, l'anneau de soutien existe toujours autour des faisceaux qui sont encore disposés en plusieurs cercles. Bientôt le tissu fibreux disparaît, et il se produit une espèce de substitution, d'une couche génératrice subéreuse à l'appareil d'affermissement précédent (pl. VII, fig. 72, *cs*); ceci rappelle ce qu'on a vu dans le *Lychnis dioica*; en même temps que naît cette assise, la subérine envahit toutes les cellules du parenchyme cortical. Les faisceaux se modifient également, ils s'allongent et tendent à se placer sur un cercle; enfin les fibres libériennes s'isolent, tandis que dans la tige aérienne elles sont enfermées dans le tissu de soutien et y disparaissent (fig. 69, *fl*).

En résumé, il résulte surtout de ce qui vient d'être dit, qu'il se produit, dans les rhizomes des Renonculacées, *une réduction et souvent même une disparition complète du tissu de soutien; il peut se substituer à ce tissu un appareil de protection formé par une couche subéreuse se produisant à l'endroit où il existait dans la tige aérienne.*

FUMARIACÉES.

La partie aérienne du *Corydalis lutea* présente un anneau de soutien très particulier; il est formé de grandes cellules à parois lignifiées, mais peu épaisses (pl. VII, fig. 74); cet anneau est séparé des faisceaux libéro-ligneux par plusieurs

assises de cellules dont les parois sont formées de cellulose pure; l'anneau précédent serait cortical. Seulement, comme je n'ai pas eu l'occasion de suivre le développement de cette tige et que l'endoderme n'est pas distinct dans l'échantillon examiné, je ne puis me prononcer; il arrive souvent, en effet, que l'endoderme est rejeté très loin des faisceaux libériens par suite du développement du tissu fondamental entre cette membrane et le liber proprement dit; on a déjà vu une pareille organisation assez nettement chez plusieurs Caryophyllées. Il existe, en plus de ces cellules lignifiées, des fibres à parois épaisses (fig. 74, f), isolées dans le tissu de la moelle et dans les rayons médullaires. Les faisceaux libéro-ligneux sont séparés, en effet, par de très grands rayons médullaires; une couche génératrice fonctionne avec très peu d'activité entre le bois et le liber, aussi ces deux tissus sont-ils peu développés.

Dans la partie souterraine, l'endoderme n'est pas plus visible que dans la tige aérienne, mais si l'on compare les épaisseurs du tissu s'étendant de l'épiderme aux faisceaux libériens, on trouve dans la partie aérienne 18 divisions micrométriques pour cette épaisseur et 30 dans la partie enterrée. Il y a donc encore augmentation des tissus périphériques de la tige sous le sol. En outre, l'anneau des cellules lignifiées a disparu (fig. 75); il subsiste bien un grand nombre de fibres à parois très épaisses, mais on n'observe plus le cercle de soutien, l'appareil homogène formant un tout. Les faisceaux libéro-ligneux de cette partie souterraine ont une organisation très curieuse. Ils sont d'abord beaucoup plus étalés que dans la tige aérienne et par conséquent moins nombreux. Il existe ensuite une seconde couche génératrice à l'intérieur du bois qui le contourne latéralement et vient se joindre à une couche bien moins importante développée entre les faisceaux libéro-ligneux.

En somme, on voit que *l'anneau de soutien disparaît dans la partie souterraine, et que le parenchyme cortical y augmente beaucoup.*

CRUCIFÈRES.

I. *Cardamine pratensis*. — Le parenchyme cortical de la tige aérienne du *Cardamine pratensis* est peu développé; une assise régulière le termine sans qu'on y distingue les plissements endodermiques, on n'y constate qu'une légère subérification. Il existe un anneau ligneux ondulé à la périphérie de la moelle; les saillies des ondulations correspondent aux rayons médullaires dont les cellules sont lignifiées et les creux sont occupés par les faisceaux ligneux; on trouve en face de chaque faisceau ligneux un faisceau libérien présentant un petit groupe de fibres adossées à l'endoderme. Le tissu médullaire est très important relativement à l'écorce, il commence à se dissocier au centre, et ses cellules commencent à se lignifier légèrement.

Dans le rhizome de cette plante, l'épiderme possède une membrane brunâtre, et le tissu cortical est extrêmement développé; on distingue, au milieu de ce dernier, des fibres très grosses, à cavité presque nulle, montrant très nettement les stries transversales des membranes cellulósiques. L'endoderme est formé de cellules beaucoup plus petites que les autres cellules corticales; on reconnaît cette membrane à la subérification de ses parois latérales. A l'intérieur du cylindre central, on constate la diminution des fibres libériennes, la lignification irrégulière dans les faisceaux du bois (encore réunis entre eux par des arcs ligneux résultant de la transformation en fibres de la partie interne des rayons médullaires) et la diminution de la moelle. On trouve, en effet, les nombres suivants pour l'épaisseur comparée de la moelle et de l'écorce :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	7	25
Moelle	70	3
Rapport de la moelle à l'écorce.	10	1

On retrouve, en somme, dans cette plante presque toutes les modifications dues au séjour sous le sol :

- 1° La subérification de l'épiderme ;
- 2° L'accroissement de l'écorce ;
- 3° La réduction des fibres libériennes ;
- 4° La lignification irrégulière dans le bois ;
- 5° La réduction du rapport de la moelle à l'écorce.

Comme particularité, on constate la production de fibres isolées, très épaisses, aussi bien dans la moelle que dans l'écorce du rhizome. On a déjà trouvé des faits semblables chez les Renonculacées.

II. 1° *Couche subéreuse et parenchyme cortical.* — Il existe, dans la portion externe du rhizome de *Cochlearia Armoracia*, une couche subéreuse formée de cellules extrêmement petites relativement à celles du parenchyme cortical intérieur ou extérieur à cette couche ; le premier a une épaisseur bien plus grande que le second. Ainsi le parenchyme cortical extérieur à la couche subéreuse étant représenté par 11 divisions micrométriques, le parenchyme intérieur est représenté par 30 ; naturellement, cette portion externe de l'écorce est envahie par la subérine et même en partie exfoliée en certains points. L'épaisseur de l'écorce est seulement de 15 divisions micrométriques, on voit donc que ce tissu s'est encore beaucoup accru dans les parties souterraines. L'*Alyssum calycinum* offre une couche subéreuse analogue par sa situation dans le parenchyme cortical et par sa composition, car elle est formée de cellules également très petites relativement aux autres cellules corticales. Dans une très vieille tige souterraine de *Lunaria rediviva*, la couche subéreuse est un peu plus profonde. Le tissu cortical des plantes de cette famille présente d'autres particularités, on constate très nettement, chez l'*Alyssum calycinum* par exemple, l'accroissement du parenchyme cortical dans la partie souterraine de la tige ; il existe des faisceaux libéro-ligneux dans l'écorce du *Cochlearia*.

2° *Faisceaux libéro-ligneux.* — La tige aérienne du *Co-*

chlearia Armoracia présente la même structure que celle du *Cardamine*, les faisceaux ligneux sont réunis par des arcs de parenchyme résultant de la lignification des rayons médullaires. La structure du rhizome est absolument différente, les faisceaux libéro-ligneux ne sont plus séparés par de grands rayons médullaires bien nets, comme dans la tige aérienne, la moelle ayant diminué d'épaisseur, les faisceaux se sont rapprochés; d'ailleurs, la lignification est très faible dans les faisceaux du bois, les vaisseaux sont seuls lignifiés. Ces derniers sont si peu nombreux et si disséminés qu'on ne peut arriver à distinguer les rayons médullaires du parenchyme non lignifié des faisceaux qu'à l'extrémité interne de ces derniers. En ce point, en effet, il s'est produit quelques fibres qui permettent d'individualiser les faisceaux.

Dans la tige aérienne du *Lunaria rediviva*, l'anneau ligneux est très complet, les faisceaux ligneux sont bien mieux développés; les rayons médullaires sont moins étalés, et la transformation de leurs cellules en fibres est complète dans le voisinage de l'endoderme; les fibres libériennes sont très nombreuses en face de chaque faisceau du bois. La tige souterraine de cette plante offre dans sa partie interne un anneau dans lequel la lignification est complète et, dans la région externe, des rayons entièrement ligneux séparés par des bandes considérables de parenchyme non lignifié. Les fibres libériennes sont encore très nombreuses dans cette partie de la tige, mais leur accroissement n'est nullement en rapport avec le développement énorme des faisceaux du bois; d'ailleurs, au lieu de former des groupes homogènes, comme dans la tige aérienne, ces fibres sont absolument disséminées sans ordre dans le parenchyme libérien.

Enfin, dans l'*Alyssum calycinum*, il existe à la base souterraine de la tige un cercle ligneux complet très développé dans lequel les rayons médullaires sont lignifiés; on y observe de plus que les fibres libériennes diminuent très sensiblement.

On remarque dans la tige aérienne du *Dentaria bulbifera*, outre le système de soutien observé précédemment dans le

cylindre central, un anneau ligneux résultant de la lignification du collenchyme qui existe sous l'épiderme ; ce tissu disparaît d'ailleurs entièrement dans la partie souterraine.

3° *Moelle*. — La moelle se réduit considérablement dans l'*Alyssum calycinum* ; on trouve en effet :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	8	4
Moelle	30	11
Anneau ligneux.....	13	23
Rapport de la moelle à l'écorce.	3	2

III. Le *Lepidium latifolium* permet de résumer les différences trouvées dans cette famille. L'écorce passe d'une épaisseur de 5 divisions micrométriques dans la partie aérienne à 65 divisions dans la partie souterraine. La couche subéreuse de cette dernière région est née dans l'assise sous-épidermique, elle est également formée de très petites cellules. Les fibres libériennes de la partie souterraine sont bien moins nombreuses que dans la partie aérienne. Les faisceaux libéro-ligneux ont pris un extrême accroissement dans la tige aérienne, les rayons médullaires lignifiés sont très réduits. Dans la partie souterraine les faisceaux libéro-ligneux sont peu développés, et la lignification est déjà irrégulière. On n'observe de parenchyme ligneux, dans les rayons médullaires, que vers la partie interne. La moelle est encore très puissante, et elle est mesurée par le même nombre de divisions dans la tige aérienne que dans la tige souterraine ; par conséquent, comme l'écorce a augmenté beaucoup d'épaisseur ; là encore le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible dans le rhizome que dans la tige aérienne.

Les Crucifères étudiées montrent donc les modifications dues

au changement de milieu. 1° *L'épaisseur de l'écorce augmente*, et 2° *une couche subéreuse naît au milieu du parenchyme cortical des parties souterraines*. 3° La diminution des fibres libériennes est moins évidente que dans la plupart des familles étudiées précédemment; mais les parties souterraines étant beaucoup plus âgées que les parties aériennes, il faut surtout tenir compte du développement relatif de ces fibres et de celui du faisceau du bois, on trouve alors toujours que *la réduction des fibres libériennes est indiscutable*. 4° *La lignification est irrégulière dans les parties enterrées, les vaisseaux peuvent être seuls lignifiés* en un grand nombre de points. 5° *Le rapport de la moelle à l'écorce diminue* en passant de la tige aérienne à la région souterraine de la tige.

VIOLACÉES.

Le *Viola biflora* se trouve souvent dans les Alpes à une altitude très élevée; je l'ai trouvé à 2700 mètres environ. Cette plante se cache sous les rochers; quand on la déterre, on trouve sous le sol un long rhizome blanc peu épais. La tige aérienne présente des angles que n'offre pas le rhizome qui est complètement arrondi. Le parenchyme est un peu plus épais dans la tige souterraine, mais cette différence est très faible; c'est dans le nombre des cellules que se trouve la principale dissemblance entre ces deux parties de l'axe, il s'est produit une multiplication considérable de ces éléments; en effet, tandis qu'il n'existe que sept ou huit assises de cellules dans le parenchyme cortical aérien, on en compte une quinzaine dans la partie développée sous le sol. L'endoderme du rhizome est une assise légèrement subérifiée sur toutes ses faces; cette membrane est formée, dans la tige aérienne, de cellules beaucoup plus grandes dans lesquelles les ponctuations sont encore visibles. Le liber ne présente de fibres ni dans la partie aérienne, ni dans la partie souterraine; le tissu ligneux forme quatre groupes dans la tige aérienne, tandis qu'on n'en voit que deux dans le rhizome. Enfin, la moelle

est un peu plus développée dans la tige souterraine. On observe chez cette plante un grand développement de l'écorce qui tient, en partie, à l'étiollement de la tige aérienne développée sous les rochers à l'abri de la lumière dans l'échantillon que j'ai observé.

Si l'on examine un pédoncule floral de *Viola hirta*, on trouve que la tige est anguleuse. En faisant une section transversale de cette partie, on voit que l'épiderme est fortement cuticulisé. Ce qui frappe surtout dans cette coupe, c'est le développement considérable du parenchyme cortical relativement au tissu médullaire; cependant on constate que cette grande extension n'est pas due au nombre considérable des cellules, mais à ce que leur volume s'est beaucoup accru. L'écorce se termine par une assise bien régulière où l'on ne voit pas de ponctuations. On trouve dans le cylindre central deux faisceaux libéro-ligneux sans fibres, opposés et étalés de façon à occuper presque toute la périphérie de la moelle; il existe cependant deux rayons médullaires aux extrémités d'un diamètre. Dans le rhizome de cette plante, on remarque que l'écorce est en partie exfoliée. Le tissu cortical est formé de cellules également très petites, comme dans le *Viola biflora*; or on a vu, au début de ce travail, que, sous terre, le parenchyme cortical augmente par l'accroissement en volume et en nombre de ses cellules; dans la plante dont il s'agit en ce moment, la multiplication des cellules seule a eu lieu. L'endoderme, légèrement subérifié, entoure un cylindre central irrégulier dans lequel la couche génératrice libéro-ligneuse a fonctionné avec activité en produisant un liber toujours mou et un tissu ligneux dans lequel la lignification est irrégulière. La moelle est plus importante que dans la partie aérienne mais peu développée relativement à l'anneau ligneux de ce rhizome âgé.

En résumé, dans cette famille, on trouve : 1° que l'écorce multiplie beaucoup ses cellules dans les parties souterraines; 2° que la lignification s'y produit très irrégulièrement; 3° que la tige tend à y devenir arrondie.

GÉRANIACÉES.

Geranium sanguineum. — La tige aérienne de cette plante présente un tissu de soutien spécial. Il est constitué par un anneau fibreux assez mince qui est relié aux fibres libériennes par un prolongement radial s'implantant dans les faisceaux libéro-ligneux. Ces derniers ont une forme ovalaire et vont en s'amincissant en pointe vers l'intérieur; les faisceaux ligneux sont disposés en croissant, à concavité tournée vers l'extérieur, dont les deux cornes remontent latéralement des deux côtés du liber mou. On retrouve, en outre, dans cette partie de l'axe, les caractères généraux des tiges aériennes : la faible épaisseur de l'écorce et le grand diamètre de la moelle.

Le rhizome de cette plante, qui contient une très grande quantité d'amidon dans presque toutes ses cellules, présente une couche subéreuse qui a déjà exfolié en partie le parenchyme cortical; ce qui reste de ce tissu est formé de cellules très grandes dont le volume est plus considérable que celui des éléments correspondants des tiges aériennes. Les faisceaux libéro-ligneux sont séparés par de très larges rayons médullaires qui font communiquer l'écorce avec le tissu de la moelle, car on ne distingue plus l'endoderme dans ce vieux rhizome. Les fibres libériennes sont encore nombreuses et épaisses dans chaque faisceau, mais l'anneau de soutien a complètement disparu. On retrouve, dans la partie souterraine de cette plante, une particularité déjà signalée chez certaines Renonculacées; il existe, à la pointe interne des faisceaux du bois, des groupes de fibres comme dans le *Thalictrum minus* ou le *Ranunculus Chærophyllus*.

En résumé, on voit que l'anneau de soutien de la tige aérienne disparaît complètement dans le rhizome, quoique celui-ci soit beaucoup plus âgé que la partie dressée au-dessus du sol.

OXALIDÉES.

Oxalis Acetosella. — L'épiderme du pédoncule floral est formé de très petits éléments entourant une écorce bien développée et formée de très grandes cellules. L'endoderme, qui termine ce tissu, semble décomposé en fragments présentant des ponctuations seulement en face et en dehors des faisceaux libéro-ligneux qui sont isolés (1); ces ponctuations disparaissent sur les grandes cellules qui se trouvent entre ces régions; ces derniers éléments sont très larges, et établissent la communication entre l'écorce et la moelle. Les faisceaux libéro-ligneux sont très peu développés; en effet, le liber est exclusivement mou, et le bois est formé de cinq ou six vaisseaux.

Dans le rhizome, l'épiderme est composé de cellules légèrement subérifiées, au lieu d'être cuticularisées, comme dans la partie aérienne; cette modification est le premier résultat du changement de milieu, ainsi qu'on l'a déjà vu très souvent. Les cellules de l'écorce qui, dans la coupe précédente, étaient un peu plus grosses seulement que celles de la moelle, sont ici d'un diamètre très supérieur, on trouve en effet :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	RHIZOME.
Diamètre d'une cellule de l'écorce	17	18
Diamètre d'une cellule de la moelle	8	4

On voit donc que le diamètre des cellules de l'écorce reste à peu près le même dans le rhizome que dans le pédoncule

(1) Une cellule de l'endoderme présentait accidentellement des ponctuations sur une face tangentielle.

floral, tandis que celui des cellules de la moelle diminue de moitié dans la tige souterraine. Les cellules de l'endoderme sont intermédiaires, comme taille, entre celles de l'écorce et celles de la moelle; elles forment une assise régulière et complète autour du cylindre central; les parois de ces cellules sont déjà légèrement subérifiées, cependant on y distingue les plissements en certains points. Les vaisseaux du bois sont disposés en anneau autour de la moelle très réduite; seulement la lignification ne s'y produit pas régulièrement.

En résumé, dans le rhizome :

1° L'épiderme se subérifie.

2° L'écorce s'accroît et la moelle diminue par la réduction du diamètre des cellules qui forment cette dernière.

3° L'endoderme forme un cercle complet autour du cylindre central.

4° Les faisceaux libéro-ligneux forment un anneau au lieu d'être séparés.

5° L'amidon est très abondant.

Le rhizome de l'*Oxalis stricta* offre un épiderme envahi par la subérine, mais on n'y trouve pas de couche subéreuse. L'écorce est bien développée, elle présente neuf assises de cellules en moyenne; la dernière, formée de cellules plus petites, est très régulière; on observe autour du cylindre central un cercle complet de cellules dont les parois latérales sont subérifiées. Les faisceaux libéro-ligneux sont isolés à la périphérie d'une moelle beaucoup plus développée. Quelques-uns de ces faisceaux sont encore à l'état de méristème, laissant entre eux et l'endoderme deux ou trois assises de cellules; à mesure que le faisceau se développe, la division gagne peu à peu vers l'extérieur et même, en certains points, arrive jusqu'à l'endoderme. Le rhizome contient une masse considérable d'amidon. Dans la tige aérienne, l'anneau ligneux est complet, le parenchyme cortical est très réduit.

On retrouve donc, dans ces plantes, les caractères des

organes souterrains. 1° *La subérine se produit dans l'épiderme.* 2° *L'écorce s'accroît, et le rapport de la moelle à l'écorce diminue.* 3° *L'amidon apparaît en très grande abondance.*

EUPHORBIACÉES.

I. *Mercurialis perennis*. — Chez les parties jeunes du rhizome du *Mercurialis perennis*, dans lesquelles l'épiderme n'a pas disparu, je n'ai point trouvé de stomates sur cette assise ; cet épiderme ne tarde pas être subérifié et exfolié. Les cellules de l'écorce de cette région souterraine sont très développées et presque aussi grosses que celles de la moelle. Dans les parties jeunes, l'endoderme est très distinct, et présente des ponctuations très nettes ; dans un rhizome plus âgé, il naît, en face des faisceaux libéro-ligneux, une assise subéreuse irrégulière qui disloque l'endoderme, et la subérine apparaît dans les portions externes de cette couche. Les faisceaux libéro-ligneux sont très peu développés et sans fibres libériennes ; en quelques points seulement, le parenchyme qui existe entre eux commence à se lignifier.

Une tige aérienne rampante présente un épiderme cuticularisé dans la région qui ne repose pas sur le sol ; en ces derniers points, cette membrane est un peu noircie. On voit déjà, chez cette tige, que la moelle prend un développement considérable. Cet accroissement est encore plus net dans une tige aérienne dressée, examinée au mois d'avril, au moment où elle porte des fleurs. Le parenchyme cortical est alors très réduit ; la chlorophylle s'y montre localisée dans les assises les plus internes de ce tissu et même, en un grand nombre de points, dans une seule ; l'endoderme ne contient pas de chlorophylle, et les ponctuations ne sont pas visibles sur ses faces latérales. Les faisceaux libéro-ligneux sont encore isolés, car la couche génératrice libéro-ligneuse n'existe encore qu'entre le bois et le liber dans les faisceaux. Enfin on retrouve la chlorophylle à la périphérie de la moelle entourant les vaisseaux spiralés et annelés.

On constate donc, chez le rhizome de cette plante :

- 1° La subérification de l'épiderme et son exfoliation ;
- 2° L'accroissement important du parenchyme cortical par l'augmentation de volume des cellules et leur multiplication ;
- 3° L'ébauche d'une couche subéreuse à l'intérieur de l'endoderme dans l'assise périphérique ;
- 4° La réduction de la moelle relativement à l'écorce.

II. Lorsque l'on compare la partie souterraine du *Mercurialis annua* à sa partie aérienne, on trouve des différences importantes. En effet, bien que cette plante soit annuelle et n'ait pas de rhizome, il peut cependant y avoir une partie souterraine à la base de la tige dressée. Le parenchyme cortical dans cette dernière partie est bien moins développé que dans la portion de la tige qui existe sous le sol ; l'écorce, dans ce dernier cas, est d'ailleurs envahie en partie par la subérine. Le liber forme un anneau complet autour du bois ; il présente quelques fibres libériennes dans la partie aérienne qui disparaissent entièrement dans la région enterrée. L'anneau ligneux est très développé dans ce dernier cas ; on voit les faisceaux primaires faire des saillies très avancées dans la moelle ; en cet endroit les cellules du tissu médullaire se sont extrêmement allongées et étirées. La moelle est d'ailleurs moins développée dans la tige souterraine que dans la tige aérienne.

Lorsqu'on examine une racine d'*Euphorbia sylvatica*, on voit qu'il existe à sa surface des bourgeons adventifs. Germain de Saint-Pierre a signalé depuis longtemps des faits semblables dans l'*Euphorbia Cyparissias* et le *Linaria vulgaris*.

Si l'on étudie le passage de la partie souterraine à la partie aérienne d'une même tige d'*Euphorbia sylvatica*, on trouve des différences faibles, mais qu'il est intéressant de noter, justement parce qu'elles indiquent bien le sens dans lequel s'opère l'action du milieu.

La moelle de la partie souterraine est formée de cellules à parois minces et parfaitement vivantes, non en voie de résorption ; dans la partie aérienne, les cellules de cette portion de

la tige ont des parois très épaisses, et la moelle, malgré son accroissement de volume, est déchirée au centre. Le système ligneux présente également une différence légère dans l'épaisseur des parois des éléments de ce tissu, ces parois sont plus épaisses dans la partie aérienne. La chlorophylle de la région de l'axe au-dessus du sol manque dans la partie souterraine où l'on observe une certaine quantité d'amidon, qui existe dans les tissus parenchymateux et en particulier dans le parenchyme ligneux. Enfin, l'épiderme est différent dans les deux cas par la nature de ses parois et par le contenu de ses cellules. En effet, tandis que les cellules de cette assise ont leurs parois subérifiées et que leur contenu est incolore dans la partie souterraine, celles de l'épiderme aérien sont seulement cuticularisées et contiennent un suc rouge qui donne à la tige la couleur qu'on lui connaît.

On observe chez ces plantes : 1° *l'accroissement de l'écorce*; 2° *la réduction relative de la moelle*; 3° *la formation hâtive d'une couche subéreuse*; 4° *la production d'amidon* dans les parties souterraines.

MALVACÉES.

Malva Alcea. — Il n'y a pas de rhizome dans cette plante, mais la base souterraine offre des différences très nettes avec la tige aérienne.

L'épiderme de cette région est fortement cuticularisé. Le tissu cortical peut se diviser en trois régions. A l'intérieur immédiatement de l'assise épidermique, on trouve deux assises de cellules à chlorophylle; on observe ensuite un tissu collenchymateux qui rentre dans cette catégorie que M. Vesque (1) appelle collenchyme convexe dont on a déjà vu un exemple dans la tige aérienne de *Solanum tuberosum* (2); la troisième

(1) *Anatomie comparée de l'écorce* (Annales des sc. nat., 6^e série, t. II, p. 104).

(2) Voy. plus haut, p. 32.

région est constituée par de grandes cellules à parois minces se terminant par une assise irrégulière. Les fibres libériennes forment de petits groupes nombreux et importants quelquefois au nombre de deux en face les faisceaux primaires. Le bois présente un anneau très épais dans lequel les trachées des faisceaux primaires sont en saillie dans la moelle ; ces vaisseaux spiralés sont entourés par un tissu non lignifié bordé du côté de la moelle par un arc de fibres.

A la périphérie de la partie souterraine, *il existe une couche subéreuse importante*, c'est la première différence à signaler avec l'organisation précédente. En second lieu, *les fibres libériennes sont bien moins nombreuses*, et les groupes qui subsistent encore sont isolés et comme résultant de la dissociation des groupes importants de la tige aérienne. Enfin *la moelle qui est encore lignifiée est très réduite*.

PRIMULACÉES.

I. *Primula elatior*. — Le rhizome du *Primula elatior* offre une écorce considérable relativement au cylindre central ; on observe à la périphérie de ce tissu une couche subéreuse peu régulière ; les cellules du parenchyme cortical vont en décroissant vers le centre de la tige, et il se forme même en certains endroits une zone de très petites cellules se distinguant très nettement de la région plus externe. L'endoderme est subérifié, toutes ses parois se colorent par la fuchsine. Le liber est exclusivement mou, et forme un anneau assez important autour du tissu ligneux. Le tissu ligneux offre une distribution assez irrégulière ; on distingue d'abord les faisceaux à leur place normale ; il existe ensuite des groupes de vaisseaux à la périphérie du liber mou. La direction de ces derniers vaisseaux est très variable, mais on constate qu'un grand nombre d'entre eux sont perpendiculaires à l'axe de la tige souterraine ; des sections longitudinales montrent qu'ils s'anastomosent entre eux et forment un réseau ; on constate donc dans cette plante l'existence d'une disposition rappelant

celle que M. Mangin (1) a trouvée dans les rhizomes des Monocotylédones. Ce réseau avait déjà été nettement indiqué et figuré dans le travail de M. Kamienski sur les Primulacées (2). Enfin on observe dans ce rhizome une très grande réduction du tissu médullaire.

A l'irrégularité très grande du rhizome, on peut opposer la parfaite symétrie de la tige florale. L'épiderme est d'abord pilifère. Le tissu cortical offre deux régions : l'externe, collenchymateuse, est formée de très petites cellules; l'interne en présente, au contraire, de grandes. On voit donc qu'on trouve, dans cette partie, une disposition absolument inverse de celle du rhizome. Dans une tige aérienne bien développée, on constate qu'il existe, en dehors des faisceaux libéro-ligneux, un cercle complet formé de six ou sept assises de cellules lignifiées mais non épaissies. Lorsqu'on examine des tiges jeunes, on voit que ce tissu est en dedans de l'endoderme; par conséquent, dans ce cas, il s'est produit un grand accroissement du parenchyme fondamental entre les faisceaux et l'endoderme, comme on l'a déjà vu chez les Caryophyllées. Dans les faisceaux libéro-ligneux, le liber mou est assez développé et la couche génératrice entre le bois et le liber n'existe pas. On trouve les nombres suivants, qui expriment le rapport de la moelle à l'écorce :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce	22	120
Moelle	150	80
Rapport de la moelle à l'écorce.	6	0,6

En résumé, on voit que les différences si profondes qu'on remarque entre le rhizome et la tige souterraine sont de même

(1) *Origine et insertion des racines adventives et modifications corrélatives de la tige chez les Monocotylédones* (Thèse. Paris, 1882).

(2) *Anatomija porow nawcza pierwsnkowatych*, Cracovie, 1876.

ordre que celles qu'on produit par l'expérience : l'écorce s'accroît, la moelle se réduit, l'amidon apparaît dans tous les tissus parenchymateux, et l'appareil de soutien disparaît complètement.

II. On observe une structure semblable chez les autres plantes de cette famille. Le *Primula grandiflora* montre une organisation presque identique dans le rhizome ; on y constate, en effet, le même développement exagéré de l'écorce, la même subérification de l'endoderme, la même réduction de la moelle ; enfin, on voit également, à la périphérie du cylindre central, les vaisseaux disposés irrégulièrement et formant un réseau. Dans le rhizome de *Primula minima*, on ne retrouve pas ce réseau, mais les caractères précédents s'y montrent ; on remarque le même développement de l'écorce et le faible diamètre de la moelle ; les faisceaux du bois sont isolés dans le cylindre central et distribués très irrégulièrement. Cette plante présente une particularité qui n'existe pas dans les autres espèces ; à la partie interne de chaque faisceau ligneux, il existe un groupe très important de fibres de fort diamètre et de faible cavité ; la lignification de leurs parois est très intense, car elles se colorent en jaune d'or par le sulfate d'aniline.

III. *Soldanella alpina*. — Le *Soldanella alpina* est une de ces jolies petites plantes, aux couleurs vives, comme on en rencontre tant dans les Alpes. J'ai cueilli celle que j'ai pu étudier à 2500 mètres d'altitude, en traversant le col du Tauern, dans les Alpes autrichiennes.

Au-dessous de l'épiderme cuticularisé du pédoncule floral, on rencontre un tissu collenchymateux peu développé ; les cellules du parenchyme cortical vont en croissant de l'extérieur à l'intérieur de la tige, et se terminent par un endoderme peu régulier et légèrement lignifié. Cette membrane limite un anneau de soutien formé de cinq ou six assises de cellules lignifiées, mais dont la cavité est peu réduite. L'an-

neau a donc été formé aux dépens du tissu fondamental. Ce tissu s'est accru entre l'endoderme et le liber, aussi les faisceaux libéro-ligneux sont-ils rejetés vers l'intérieur du cylindre central. Le tissu médullaire a à peu près en diamètre la même épaisseur que l'écorce.

Dans la partie souterraine, on trouve une structure très différente : 1° il existe à la périphérie une couche subéreuse bien développée; 2° le parenchyme cortical prend un grand accroissement, et se termine par un endoderme peu net qui sépare le parenchyme cortical du cylindre central; 3° la différence saillante tient à la disparition complète de l'anneau de soutien; 4° il n'y a pas de fibres libériennes pour remplacer ce dernier tissu; 6° la moelle est très réduite.

On trouve en effet pour la moelle et l'écorce les épaisseurs suivantes :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	25	58
Moelle.....	26	10
Rapport de la moelle à l'écorce.	1,04	0,1

On constate donc, en somme, *la disparition de l'appareil de soutien, l'apparition de l'amidon, l'augmentation de l'écorce et la réduction de la moelle* dans les parties souterraines des Primulacées.

LABIÉES.

J'ai fait une étude assez complète du *Teucrium Scorodonia*, aussi vais-je prendre cette plante comme type; j'examinerai ensuite comparativement les autres Labiées.

I. *Teucrium Scorodonia*.—La tige aérienne jeune est carrée; il se forme aux angles, des ailes qui sont en saillie. L'épiderme

est légèrement cuticularisé, et porte deux sortes de poils, les uns capités et les autres très allongés. Le parenchyme cortical est très peu développé, il n'offre que quatre ou cinq assises de cellules sur les pans de la tige; aux angles, l'écorce prend un plus grand développement. En cet endroit, il existe, en effet, sous l'épiderme un tissu collenchymateux très puissant qui est localisé dans ces saillies; le parenchyme à parois non épaissies reparait jusqu'à l'endoderme. Cette dernière assise est très régulière, elle entoure complètement le corps central; on reconnaît ici l'endoderme, non seulement par sa situation, mais aussi par ses ponctuations très nettes (pl. VII, fig. 77, *end*). Aux quatre coins du prisme formant le corps central, il existe des faisceaux libéro-ligneux très développés. C'est en ces points que se trouvent presque toutes les fibres libériennes; souvent ces fibres ne se forment pas dans l'assise immédiatement contre l'endoderme, mais dans les assises plus internes; cependant, en un grand nombre d'autres points, les cellules de cette assise voisine de l'endoderme subissent la transformation en éléments fibreux. Le liber mou est incomparablement moins développé que le bois, tous les deux d'ailleurs forment des anneaux; on observe aux angles de l'anneau ligneux de puissants faisceaux résultant de l'accroissement des faisceaux primaires de la tige; ces faisceaux sont reliés par des bandes épaisses de parenchyme ligneux.

Dans une tige aérienne plus âgée, les saillies sont moins grandes. Le tissu collenchymateux des angles est moins important et sa diminution semble correspondre à un développement inverse des fibres libériennes. Ces fibres, qui constituent dans la tige jeune (fig. 77) de petits groupes irréguliers, forment maintenant un arc complet contournant tout le coin du corps central; la cavité de ces cellules est moins grande; enfin, presque toutes les cellules de l'assise immédiatement en contact avec l'endoderme sont transformées en éléments fibreux. Ces quatre arcs puissants ne sont plus les seuls, il existe d'autres petits groupes de fibres sur les pans du prisme central; on compte d'ailleurs dans ces derniers au plus une

dizaine de fibres qui prennent encore, en ces points, aussi bien naissance dans l'assise voisine de l'endoderme que dans les assises sous-jacentes. Le liber mou n'a pas suivi le développement du liber dur; il présente au plus une épaisseur de trois ou quatre cellules; il subsiste donc, à la périphérie du bois, sous la forme d'un mince cordon (fig. 78, *l.*). L'anneau ligneux est, au contraire, extrêmement développé et l'accroissement s'est produit aussi bien dans les faisceaux que dans les bandes ligneuses les reliant entre eux; il existe, en outre, dans chaque faisceau un nombre considérable de fibres ligneuses. Enfin il se produit, à la périphérie de la moelle, un arc de cellules lignifiées entourant les trachées.

Si l'on examine maintenant les rhizomes de cette plante, en prenant d'abord les plus jeunes, on trouve tout de suite des différences importantes entre leur structure et celle qu'on vient de décrire. Dans les jeunes tiges souterraines, on constate que les angles tendent à disparaître, ils s'arrondissent. L'épiderme porte encore des poils, mais les poils capités sont supportés par un plus long pédicelle. Le parenchyme cortical a considérablement augmenté d'épaisseur, mais le nombre des assises de cellules le formant n'a pas beaucoup varié, au lieu de quatre on en compte six, c'est donc à l'accroissement des cellules qu'on doit l'augmentation de l'écorce. Le tissu collenchymateux a complètement disparu aux angles. L'endoderme est encore assez régulier, seulement on n'y distingue pas de ponctuations. Les fibres libériennes existent aux coins du corps central, mais elles sont déjà bien moins nombreuses que dans la tige jeune aérienne. Les faisceaux sont encore reconnaissables dans l'anneau ligneux complet qui existe autour de la moelle; cependant la tendance à l'homogénéité de cette partie rend ces faisceaux moins nets que dans la tige aérienne. En effet, dans cette dernière tige, ces faisceaux proéminent nettement dans la moelle; dans la tige souterraine, l'arrondissement de la tige, la réduction de la moelle tendent à rendre tout l'anneau ligneux plus uniforme.

Chez les rhizomes un peu plus âgés, on remarque des modi-

fications dans les tissus protecteurs. Dans les jeunes pousses souterraines, l'épiderme n'est presque pas modifié, ainsi qu'on vient de le dire. Après un séjour plus prolongé sous le sol, ses cellules s'encroûtent d'une matière noirâtre ; cette substance envahit bientôt les parois latérales et internes de cette assise. La destruction des cellules de la périphérie de la tige se propage vers l'intérieur, et une partie des cellules du parenchyme cortical noircissent à leur tour. On constate alors un cloisonnement dans les cellules internes qui ne sont pas encore mortes, seulement ces cellules génératrices sont distribuées irrégulièrement. On voit, en effet, dans une même coupe, en un endroit un arc générateur très enfoncé dans le parenchyme cortical ; en un autre point, on trouve des cellules génératrices au voisinage de l'épiderme. Enfin, dans les vieux rhizomes, il existe une couche subéreuse irrégulière à la périphérie de la tige. Pendant que ces transformations s'opèrent vers l'extérieur, la couche génératrice libéro-ligneuse produit un développement considérable du liber mou et des faisceaux du bois. Dans le liber, les fibres sont de plus en plus isolées, et le liber mou devient de plus en plus prépondérant. C'est surtout dans l'anneau ligneux que les changements sont sensibles ; le tissu ligneux forme un cercle bien régulier, et, au lieu de quatre faisceaux qui prédominent sur les autres, on voit un grand nombre de faisceaux du bois tous égaux, très allongés, séparés les uns des autres par des rayons médullaires lignifiés qui se différencient nettement des faisceaux.

En résumé, dans la partie souterraine :

1° Un épiderme subérifié se montre à l'extérieur remplacé assez tard par une couche subéreuse.

2° Le parenchyme cortical prend un grand accroissement.

3° Le collenchyme de l'écorce disparaît.

4° Les fibres libériennes diminuent pendant que le liber mou augmente.

5° Les faisceaux libéro-ligneux forment un anneau dans lequel tous les faisceaux sont égaux, très allongés et séparés par des rayons médullaires lignifiés.

6° Le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible que dans la tige aérienne.

7° La tige s'arrondit.

II. Je vais comparer à cette organisation de la Germandrée celles des autres Labiées que j'ai pu étudier.

1° *Épiderme et couche subéreuse*. — L'épiderme, simplement cuticularisé dans la tige aérienne du *Lycopus europeus*, se recouvre d'une matière brunâtre dans la tige souterraine ; cette substance se montre sur les poils qui existent encore sur cette membrane, et tend à envahir les autres parois des cellules épidermiques ; en quelques points, la subérine se présente dans les assises sous-jacentes à l'épiderme. Le *Galeobdolon luteum* présente également un épiderme seulement subérifié. Dans l'*Origanum vulgare*, il naît une couche génératrice très irrégulière, car, par suite de la disparition de l'épiderme, la subérine menace d'envahir jusqu'aux organes importants de la tige souterraine. On constate la même irrégularité dans le *Stachys palustris* et le *Salvia verticillata*.

2° *Modifications de l'écorce*. — Le parenchyme cortical prend, dans toutes les plantes étudiées, un grand accroissement dans les parties souterraines. Chez le *Salvia verticillata*, cette augmentation de l'écorce est due à l'accroissement de la capacité de chaque cellule ; ce changement est accompagné de très grandes modifications dans la régularité des assises corticales. Il existe aux angles, dans la tige aérienne de la Sauge dont il s'agit, un tissu collenchymateux très important qui s'étend assez loin sur les pans de la tige dans les deux rangées de cellules sous-épidermiques ; ce collenchyme manque dans la région souterraine de cette plante.

On voit, dans le *Melittis Melissophyllum*, des ailes très saillantes sur la tige aérienne, ces appendices offrent un collenchyme important ; une de ces ailes présente même un fait curieux, qui justifie bien l'opinion de M. Schwendener (1) sur

(1) *Loc. cit.*

ce tissu ; la partie interne de ce collenchyme jaunit par le sulfate d'aniline ; il y a donc eu une ébauche de lignification sur ce point ; on a déjà rencontré des faits analogues dans les *Ombellifères*.

L'*Ajuga reptans* n'a pas de rhizome, mais des portions de tige accidentellement enterrées montrent des modifications analogues à celles qu'on trouve dans les *Labiées* à rhizome. On constate, dans cette plante, l'augmentation du parenchyme cortical et la disparition du collenchyme ; en même temps la cellulose s'imprègne de subérine, car les parois de ces cellules rougissent par la fuchsine.

La transformation de la tige aérienne carrée du *Thymus Serpyllum* en tige souterraine ronde est complète ; le collenchyme de la tige aérienne de cette plante ne se montre pas seulement aux angles, il s'étend tout autour de la tige, dans les assises sous-épidermiques. Le parenchyme cortical a été exfolié dans la tige souterraine, par le jeu d'une couche subéreuse à peu près régulière.

Chez le *Teucrium Chamædrys*, la tige aérienne elle-même tend à s'arrondir, et le tissu collenchymateux se réduit alors régulièrement à une assise de cellules sous-épidermiques ; ce collenchyme devient seulement un peu plus important aux endroits qui correspondent aux angles, il peut y avoir trois ou quatre cellules à parois épaissies. La tige souterraine de *Teucrium* offre un accroissement sensible de l'écorce, et le collenchyme sous-épidermique disparaît presque complètement.

3° *Endoderme*. — L'endoderme des tiges aériennes de *Teucrium Chamædrys* est légèrement subérifié, cette subérification ne se présente pas dans la partie souterraine. Les plissements de cette assise sont bien visibles dans la tige aérienne du *Melittis Melissophyllum*. Les cellules de l'endoderme sont, souvent petites, par exemple chez le *Marrubium vulgare*, elles ne prennent pas l'accroissement considérable des cellules du parenchyme cortical. Dans le rhizome de *Scutellaria galericulata*, les cellules de l'endoderme se distinguent immédiate-

ment de celles du parenchyme cortical; ces dernières sont grosses, ovalaires, allongées radialement, tandis que celles de l'endoderme sont aplaties et tabulaires.

4° *Faisceaux libéro-ligneux*. — C'est surtout dans la distribution des faisceaux libéro-ligneux que se montrent les plus grandes variations. Le *Stachys palustris* offre, dans la partie souterraine, en dedans d'un endoderme très net, deux sortes de faisceaux libéro-ligneux; le développement de ces deux sortes de faisceaux est faible, seulement les uns correspondent aux parties anguleuses de la tige, et sont un peu plus avancés que les autres; mais ce qu'il y a surtout à noter, c'est que les faisceaux restent isolés en même temps que dégradés, le tissu de ces rhizomes épais et blancs est donc presque exclusivement parenchymateux.

Dans le rhizome de *Scutellaria galericulata*, le corps central, qui est rejeté tout à fait au centre de la tige, présente quatre angles dans lesquels on trouve quatre faisceaux très réduits et qui ne se rejoignent pas.

Dans les deux cas précédents, il n'existe pas de fibres libériennes; on ne les trouve pas non plus dans la tige souterraine de l'*Origanum vulgare*. Ces fibres commencent à apparaître en très petit nombre dans la partie enterrée du *Marrubium vulgare*. Dans la tige aérienne du *Melittis Melisophyllum*, elles forment quatre arcs très puissants; ces arcs sont saillants, renforcés par d'autres plus petits qui se produisent sur les pans de la tige. La partie souterraine de cette même plante offre une réduction très sensible de ces cellules de soutien; il existe, par exemple, 52 fibres dans un de ces arcs de la tige souterraine tandis que, dans la tige aérienne, on en trouve 156.

Le *Marrubium vulgare* présente un anneau ligneux net et puissant dans la partie de la tige qui est restée sous le sol, seulement on distingue encore très bien les faisceaux primaires. Dans le *Salvia verticillata*, la moelle diminue également beaucoup, la tige souterraine s'étant arrondie, les arcs ligneux qui relient les faisceaux entre eux diminuent d'éten-

due; en outre, les faisceaux des coins du corps central se décomposent en faisceaux ligneux plus petits, séparés par des rayons médullaires; par conséquent la tendance à l'uniformité se manifeste de plus en plus. Cette uniformité est complète dans l'*Origanum vulgare*, le tissu du bois de cette plante est extrêmement développé, il forme un anneau parfait d'une épaisseur considérable. La tige aérienne de l'Origan présente, au contraire, quatre groupes de faisceaux qui proéminent nettement dans la moelle. Dans la tige souterraine du *Thymus Serpyllum*, la réduction de la moelle, relativement à l'anneau ligneux, est considérable, le rayon de la moelle étant 8, celui de l'anneau ligneux est de 55; dans la tige aérienne, on constate pour ce dernier un développement bien plus faible : 20 pour l'épaisseur de la moelle et 5 pour l'anneau ligneux. Dans le premier cas, l'anneau est entièrement lignifié, et l'on distingue une série de cercles où les fibres sont plus abondantes, absolument comme dans les plantes arborescentes.

5° *Rapport de la moelle à l'écorce.* — Le rapport de la moelle à l'écorce varie toujours dans le même sens que dans les observations précédentes. On trouve ainsi :

NOMS DES ESPÈCES.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Melittis Melissophyllum...</i>	Écorce	17	41
	Moelle	220	154
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	12,9	3,7
<i>Ajuga reptans.....</i>	Écorce	36	54
	Moelle	96	95
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	2,6	1,7

NOMS DES ESPÈCES.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Galeobdolon luteum</i>	Écorce	20	25
	Moelle	280	130
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	14	5
<i>Marrubium vulgare</i>	Écorce	10	10
	Moelle.....	90	75
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	9	3

Ce tableau montre bien qu'on trouve, dans cette famille, les changements qui ont déjà été si souvent signalés dans le développement relatif de la moelle et de l'écorce. L'augmentation de l'écorce dans la partie souterraine est en rapport avec l'accroissement du volume des cellules de cette partie de la tige, et la diminution de la moelle coïncide avec une réduction du diamètre des cellules médullaires; on trouve en effet :

NOMS DES ESPÈCES.	DIAMÈTRE MOYEN D'UNE CELLULE.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
<i>Melittis Melissophyllum</i> ...	De l'écorce	1,2	1,5
	De la moelle.....	3,4	2,8
<i>Marrubium vulgare</i>	De l'écorce	1,3	2,3
	De la moelle.....	3	2

Le diamètre moyen d'une cellule quelconque diminue quand on passe de la tige aérienne à la tige souterraine, pour

les cellules de la moelle, et augmente pour les cellules de l'écorce.

III. Avant de résumer les différences trouvées dans cette famille, je crois intéressant de rappeler une étude faite sur le *Glechoma hederacea*.

Ayant trouvé une tige enterrée qui se propageait horizontalement et émettait une branche aérienne, j'ai comparé la structure de ces deux branches au-dessus et au-dessous du sol, les légères différences qu'on trouve entre ces deux parties, montrent bien les premières modifications dues immédiatement au séjour sous le sol.

La tige aérienne est carrée. L'épiderme cuticularisé présente une série de poils reposant sur deux cellules de l'épiderme. Le tissu collenchymateux est très développé aux angles de la tige, et s'étend un peu plus loin que ces angles. L'endoderme ne présente pas de ponctuations. Les fibres libériennes sont absentes, mais le liber mou est bien développé aux angles; ce qu'il y a de particulier, dans cette plante, c'est que le liber n'existe qu'aux quatre coins; on constate, en effet, que l'anneau ligneux est immédiatement en contact avec l'endoderme sur les pans du cylindre central.

Dans la partie souterraine, la tige est irrégulière et a la forme d'un trapèze; les angles de la partie enfoncée le plus profondément dans le sol tendent à disparaître, tandis que les plus voisins de la surface sont encore nets. L'épiderme de cette région supérieure de la tige souterraine est formé de cellules beaucoup plus petites que celles de la région inférieure ou profondément enterrée. A ces changements dans l'épiderme, il en correspond d'autres dans l'écorce; l'épaisseur de l'écorce est 9 dans la première partie, tandis que dans la partie inférieure elle arrive à 17; le nombre des cellules est à peu près le même dans les deux cas, par conséquent les cellules ont beaucoup augmenté de volume dans la région inférieure. Le tissu collenchymateux existe encore, quoique très réduit, aux quatre coins de la tige enterrée; les cellules sont petites,

à parois très épaissies dans la tige aérienne; elles deviennent beaucoup plus larges et à parois moins épaisses dans la partie souterraine. Le corps central est entouré par un endoderme régulier, mais sans ponctuations; la section de cette région a la forme d'un trapèze comme la tige elle-même; la partie élargie correspond à la partie profondément enterrée dans laquelle les tissus ont subi le plus grand accroissement.

L'étude de cette partie souterraine m'a donc paru présenter un certain intérêt, car elle montre l'influence du milieu plus grande dans les parties de la tige plus profondément enterrées que dans celles qui avoisinent la surface du sol. Cette action du milieu se révèle dans l'arrondissement de la tige, le développement de l'écorce et la diminution du collenchyme; tous ces caractères de la partie souterraine sont plus accentués dans la région plus enfoncée dans le sol.

En résumé, on constate surtout dans les Labiées : 1° l'arrondissement de la tige; 2° la disparition et la réduction du collenchyme; 3° la diminution du nombre des fibres libériennes; 4° la tendance à l'homogénéité dans l'anneau ligneux des parties souterraines.

Je n'insiste pas sur l'accroissement de l'écorce et la réduction de la moelle.

VERBÉNACÉES.

Verbena officinalis. — Au-dessous de l'épiderme cuticularisé de la tige aérienne de cette plante, on trouve une assise collenchymateuse; ce tissu existe, en outre, comme chez les Labiées, là où la tige présente des saillies. Le parenchyme cortical est assez développé, il offre huit à neuf assises de cellules; les plissements de l'endoderme, qui termine l'écorce, se distinguent bien aux points en dedans desquels les fibres libériennes sont peu développées; mais, là où ces fibres sont réunies, l'endoderme est écrasé, et ses ponctuations tendent à disparaître. Les fibres libériennes, en effet, forment des

groupes importants en face des faisceaux ligneux primaires; les groupes intermédiaires sont bien moins considérables, et constitués au plus d'une vingtaine, souvent de trois ou deux fibres. Le tissu ligneux forme un anneau complet autour de la moelle, dans lequel on reconnaît la situation des faisceaux primaires à ce qu'ils proéminent dans la moelle; il existe autour des trachées un tissu parenchymateux composé de cellules allongées longitudinalement.

Le parenchyme cortical de la partie souterraine est en partie exfolié; malgré cela, il est encore plus puissant que dans la partie aérienne: il présente, en effet, treize ou quatorze assises de cellules. L'endoderme est représenté par une assise régulière et légèrement subérifiée. La différence la plus importante réside dans l'absence complète de fibres libériennes. Le liber mou présente deux régions: la partie externe formée de grandes cellules, correspond à la position des fibres libériennes de la partie aérienne; la partie interne est constituée par ce liber particulier aux tiges souterraines, composé de cellules empilées les unes derrière les autres en file radiale. Le bois est très développé car l'anneau ligneux est complet, cependant la lignification se produit irrégulièrement dans la région périphérique.

On constate donc, dans la tige souterrainée, l'augmentation de l'écorce et surtout la *disparition complète des fibres libériennes*.

PLANTAGINÉES.

L'épiderme de la tige aérienne du *Plantago lanceolata* est cuticularisé; le parenchyme cortical peu développé se termine par une assise endodermique régulière, mais sans ponctuations. Il existe dans cette tige anguleuse un anneau de soutien très important. Cet anneau suit les ondulations de la tige; à l'endroit des saillies, il existe des fibres très petites, très nombreuses, à cavité faible; la cavité des cellules de l'anneau est un peu plus grande entre les faisceaux; on voit en cet en-

droit que ce sont bien, en effet, les cellules du tissu fondamental qui se sont lignifiées. Mais le fait le plus étrange que l'on observe, est la disparition du liber mou d'un certain nombre de faisceaux; les fibres de l'anneau précédent s'étendent jusqu'aux faisceaux du bois. En revanche, il existe, à la pointe interne de chaque faisceau ligneux, un îlot important formé de cellules non lignifiées entourant les trachées. Ce tissu est bordé intérieurement par les cellules de la moelle qui sont lignifiées. Le développement du tissu médullaire est toujours considérable relativement à l'écorce.

Dans la partie souterraine de la tige, on observe, à la périphérie d'une écorce énorme, une couche subéreuse importante. Le liber mou est bien visible à l'extérieur des faisceaux ligneux et de l'assise génératrice. L'anneau de soutien a complètement disparu, et il n'existe pas même une seule fibre libérienne. Les faisceaux libéro-ligneux, séparés par d'énormes rayons médullaires, présentent des masses bien lignifiées dans la région externe, tandis que la lignification s'est opérée avec beaucoup d'irrégularité à la périphérie de la moelle. La réduction relative de la moelle est très sensible; il se forme à la périphérie de ce tissu et en face chaque faisceau du bois un groupe très important de fibres fortement lignifiées, à parois très épaisses. On a déjà vu la production de pareilles fibres dans les Renonculacées et les Primulacées.

En résumé, le fait le plus saillant est la *disparition complète, dans la tige souterraine, du puissant anneau de soutien de la tige aérienne.*

SCROFULARIACÉES.

I. *Digitalis purpurea*. — La tige aérienne de la Digitale présente un anneau de fibres rappelant beaucoup celui du *Lychnis dioica*. Cet anneau existe, en effet, tout autour du cylindre central. Il est d'ailleurs absolument uniforme car toutes les fibres qui le composent ont la même épaisseur. L'endo-

derme forme à la périphérie de cet anneau une assise de grandes cellules dont les parois sont légèrement subérifiées; vers l'intérieur, la couche de fibres est bordée par le liber mou; ce tissu est très peu développé, il est constitué par un grand nombre de petits ilots séparés les uns des autres par des ponts d'une épaisseur de une ou deux cellules fibreuses qui vont de l'anneau fibreux à l'anneau ligneux. Ces ilots libériens sont extrêmement réduits; ils présentent, en effet, à peine une épaisseur de trois couches de cellules et une largeur de cinq ou six cellules. L'individualité des faisceaux ligneux est peu distincte car les faisceaux sont constitués par des files radiales de vaisseaux disposés très régulièrement les uns à côté des autres, séparés seulement par une épaisseur de deux cellules de parenchyme ligneux. Malgré cela, comme la moelle, en se lignifiant dans sa zone externe, laisse autour des trachées un tissu parenchymateux non lignifié, on peut arriver à retrouver ce qui appartient à un faisceau dans l'anneau du bois. Le tissu médullaire très développé est lignifié et ponctué seulement à sa périphérie.

Dans la base souterraine de la tige de cette plante, on constate que le parenchyme cortical est rapidement exfolié; il existe à la périphérie de la tige une couche subéreuse puissante. Dans la tige aérienne, malgré le développement assez grand des faisceaux ligneux, il n'y a pas de couches génératrices entre le bois et le liber; la couche génératrice est, au contraire, très importante dans la partie souterraine, et c'est surtout le bois qui prend un grand développement; l'accroissement du liber est faible, mais ce tissu est exclusivement mou, il n'existe pas de fibres libériennes: l'anneau fibreux de la partie aérienne a tout à fait disparu.

En résumé, on constate, outre la production rapide d'une couche subéreuse, la disparition complète de l'anneau fibreux dans la partie souterraine.

II. J'ai examiné deux Scrofulaires, le *Scrofularia nodosa* et le *Scrofularia aquatica*, dont les deux structures sont

assez voisines; ces deux études se sont complétées réciproquement.

La tige de *Scrofularia nodosa* se renfle à sa partie inférieure en un tubercule (pl. VII, fig. 79); de ce tubercule partent d'autres pousses d'âges différents; en effet, quelques-unes sont encore à l'état de petits mamelons coniques qui doivent se prolonger un peu plus tard en tiges aériennes.

Si l'on examine d'abord la structure d'un de ces renflements, on voit que l'écorce est limitée extérieurement par plusieurs assises de cellules très régulières, subérifiées et en voie de dissociation. Les cellules de l'écorce sont à peu près de la taille des cellules de la moelle; mais, tandis que ces dernières présentent leur plus grand allongement dans le sens du rayon, celles de l'écorce sont plus allongées tangentiellement. Entre ces deux régions, sans limites bien nettes et bien précises, se trouve une couche de cellules plus petites qui entourent la moelle. En certains endroits, éloignés les uns des autres, on rencontre des faisceaux ligneux peu développés tangentiellement, mais faisant des saillies très avancées dans la moelle. Les vaisseaux qui constituent ces faisceaux, se raccordent obliquement les uns avec les autres; ils se groupent entre eux de façon que leur ensemble forme un réseau à la périphérie de la moelle. Ces faisceaux sont séparés entre eux par d'énormes rayons médullaires qui constituent en somme la partie la plus importante du tissu formant l'anneau passant par les deux extrémités des faisceaux du bois; les rayons médullaires sont formés de cellules allongées radialement. Les faisceaux ligneux ont la forme d'un triangle dont la base serait très faible et dont l'extrémité effilée se serait brisée en un grand nombre de petites pièces constituées par les vaisseaux très avancés dans la moelle. Quant au liber, il est peu abondant et peu net; il existe cependant en dehors des faisceaux ligneux, et j'ai constaté la présence de quelques tubes criblés.

La tige aérienne jeune est carrée; elle offre une écorce formée de cellules extrêmement petites relativement à celles de

la moelle. On distingue l'endoderme par sa situation et sa régularité sans que les ponctuations de cette assise soient visibles. La couche génératrice existe bien nettement entre le bois et le liber, ainsi qu'à travers les rayons médullaires primaires; il s'est formé, en effet, aux coins du corps central, dont la section est maintenant carrée, quatre centres de lignification desquels la lignification rayonne. On trouve encore des modifications dans le rapport des dimensions de la moelle et de l'écorce :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	17	55
Moelle ..	200	500
Rapport de la moelle à l'écorce.	11	9

Cette plante présente un exemple d'une tige dans laquelle les angles apparaissent avant leur sortie du sol. La tendance des tiges aériennes à devenir anguleuses tient évidemment à l'hérédité, ce n'est pas le milieu aérien qui seul produit cet effet, sans quoi toutes les tiges aériennes seraient anguleuses; mais on a vu expérimentalement, dans le *Teucrium Scorodonia*, par exemple, que le séjour dans le sol tend à diminuer les angles. Lorsque le séjour est prolongé, l'effet est complet; mais après un temps très court, les angles se sont seulement un peu arrondis. Il n'est donc pas étonnant de trouver des tiges souterraines nettement anguleuses; ce qu'il importe de noter, c'est la tendance à la disparition des saillies plutôt que leur suppression complète.

Dans une tige souterraine de *Scrofularia aquatica*, l'arrondissement de la tige est très net; on distingue cependant encore la situation des angles: c'est d'ailleurs aux coins de la tige qu'existent les faisceaux libéro-ligneux. La tige présente un développement considérable de l'écorce. Cette région est terminée par une couche subéreuse assez puissante; les cellules

corticales, formant quinze ou seize assises, sont un peu plus petites que celles de la moelle. Les ponctuations endodermiques sont très nettes; ces plissements n'étaient pas visibles dans l'espèce très voisine qu'on vient d'étudier; il ne faut donc pas se hâter pour nier l'existence d'une membrane si générale mais si transitoire. L'endoderme présente un fait singulier dans la plante dont il s'agit en ce moment : cette assise commence à se diviser. Les faisceaux libéro-ligneux sont peu développés, et les trachées déroulables sont très visibles dans cette plante.

Une tige aérienne, à la fin de la végétation, possède une tige quadrangulaire dans laquelle l'écorce est très réduite; elle ne présente, en effet, que trois ou quatre assises de cellules, sans couche subéreuse. L'endoderme, non divisé, est représenté par une assise de grandes cellules très régulières. Les fibres libériennes forment un cercle d'une épaisseur d'une cellule, interrompu çà et là. Le liber mou est extrêmement réduit : il forme un simple cordon autour de l'anneau ligneux très puissant. On distingue encore la position des trachées, mais le tissu s'est lignifié tout autour, et ces vaisseaux semblent avoir été écrasés.

En somme, on voit par l'exemple précédent que, dans la partie souterraine très jeune, il naît à la périphérie de l'écorce une assise subéreuse qui n'existe pas dans une tige aérienne, même lorsque cette dernière est tout à fait à la fin de la végétation et au moment où elle va mourir. L'écorce est énorme dans la partie souterraine, tandis que la réduction est aussi faible que possible dans la partie aérienne. En outre, tandis que l'endoderme commence à se diviser dans la première région, la tige aérienne ne présente rien d'analogue. Enfin, le développement des fibres libériennes de la partie aérienne jeune ne se rencontre pas dans la partie enterrée.

III. Le *Veronica Beccabunga* vit dans les endroits marécageux. Je n'ai point voulu m'occuper, dans ce mémoire, des plantes aquatiques parce que le séjour des plantes dans l'eau

modifie profondément leur structure; le problème que je cherche à résoudre deviendrait trop compliqué. J'ai donc laissé absolument de côté un certain nombre de plantes vivant dans l'eau et possédant de puissants rhizomes, comme les Nymphéacées, les *Menyanthes*, etc. Je parle du *Veronica Beccabunga*, parce que j'ai étudié expérimentalement cette plante en la faisant pousser dans un endroit sec.

J'ai examiné d'abord deux parties souterraines qui m'ont fait comprendre la nécessité, avec une pareille plante, d'opérer expérimentalement.

Une partie souterraine âgée présente un cylindre central extrêmement réduit relativement à l'écorce qui est peu lacuneuse. Ce cylindre central est entouré par un endoderme offrant des ponctuations nettes : cette membrane s'est dédoublée en deux assises de cellules, les ponctuations restant sur l'assise la plus interne. Les assises externes de la tige sont nettement subérifiées.

Dans une partie souterraine jeune, le cylindre central s'est beaucoup développé grâce au grand accroissement de la moelle; l'écorce, peu lacuneuse précédemment, présente de très grandes lacunes. Cette modification de l'écorce tient à la nature très marécageuse du sol qui modifie la structure du parenchyme cortical, et tend à augmenter le nombre et la capacité des espaces lacunaires.

Il est donc nécessaire de faire une expérience, si l'on veut obtenir, avec cette plante, des résultats dus à l'influence du séjour sous le sol.

J'ai enterré l'extrémité d'une tige aérienne de cette Véronique dans un sol sec en laissant une autre se développer à l'air. J'ai obtenu les résultats suivants.

Dès le troisième entre-nœud, on trouve des différences dans le développement des diverses parties; ainsi on trouve :

ENTRE-NŒUDS.	TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Troisième entre-nœud.....	Écorce	45	75
	Moelle	99	98
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	2,2	1,3
Quatrième entre-nœud.....	Écorce	55	70
	Moelle	108	100
	Rapport de la moelle à l'écorce.....	1,9	1,4

Les plissements de l'endoderme sont très visibles dans la partie souterraine, et ne se discernent plus dans la partie aérienne dès le troisième entre-nœud. Le liber, dans lequel les fibres libériennes manquent dans les deux cas, forme un anneau complet autour du bois. Ce dernier tissu forme également un anneau autour de la moelle dans lequel les vaisseaux ligneux sont disposés en files radiales de deux ou trois, chacune de ces rangées étant séparée des voisines par du parenchyme non lignifié.

En somme, on voit que le parenchyme cortical a pris, dans cette plante, un développement appréciable. Un résultat contraire aurait cependant été explicable; en effet, il existe dans le parenchyme cortical de cette plante des lacunes qui doivent tendre à être écrasées par la résistance du sol. Il était donc important de faire une expérience pour comparer ces tissus dans les tiges aérienne et enterrée, chez une plante amphibie comme celle-ci. Le résultat a d'ailleurs été très net. Ce qui précède fait donc comprendre pourquoi j'ai dû laisser de côté les rhizomes des plantes aquatiques, car ces parties souterraines vivent, le plus souvent, dans un sol bourbeux, et le milieu est autant aquatique que souterrain.

Les *Veronica scutellata* et *V. Anagallis* étant également des plantes de marécages, comme je n'ai point fait d'expériences sur elles, je les laisse de côté. La tige souterraine du *Veronica officinalis* présente les caractères trouvés dans le *V. Beccabunga*, avec cette différence que le parenchyme cortical n'est point lacuneux; le cylindre central est peu développé, il offre un anneau de liber entourant un anneau ligneux beaucoup plus important dans lequel la lignification se fait irrégulièrement. En somme, le faible développement du cylindre central et la lignification irrégulière dans l'anneau ligneux sont des caractères qui rapprochent la partie souterraine de cette plante des autres rhizomes qui ont été étudiés jusqu'ici.

En résumé, l'étude des Scrofulariacées, montre dans la partie souterraine : 1° la formation hâtive d'une couche subéreuse; 2° l'accroissement du parenchyme cortical; 3° la réduction du nombre des fibres libériennes et la disparition complète d'un anneau de soutien; 4° la lignification irrégulière du bois; 5° la diminution du rapport de la moelle à l'écorce.

En outre, l'examen d'une plante amphibie permet d'apprécier la complication du problème, dans ce cas, et l'on comprend pourquoi je ne me suis point occupé ici des rhizomes. ❧

SOLANÉES.

Atropa Belladonna. — Au-dessous de l'épiderme de la tige aérienne, il existe deux ou trois assises de cellules à parois minces; plus à l'intérieur, on remarque un tissu collenchymateux ressemblant beaucoup à celui du *Solanum tuberosum*, mais bien moins développé, avec des épaisissements moins grands aux angles. En dedans de ce collenchyme, il existe un parenchyme à parois non épaissies se terminant par un endoderme assez régulier, mais ne présentant pas de ponctuations. Après cette assise, on voit des fibres libériennes qui y sont immédiatement adossées; elles forment une assise irrégulière et interrompue. L'anneau ligneux existe en dedans du liber

mou qui forme une couche assez mince autour de lui. Le liber interne se montre à l'intérieur de l'anneau précédent; il est constitué, comme on l'a déjà vu, dans le *Solanum tuberosum* par des groupes de très petites cellules; on observe également des fibres libériennes internes à la périphérie de la moelle, mais moins nombreuses que celles du liber externe.

Une couche subéreuse puissante se forme à la périphérie de la tige souterraine; le parenchyme cortical ne présente pas de limite nette entre le cylindre central et l'écorce. Le liber est exclusivement mou; les faisceaux ligneux sont très développés et séparés par de larges rayons médullaires non lignifiés. Dans les faisceaux du bois, la lignification est aussi irrégulière que possible et n'atteint que les vaisseaux.

On constate donc, dans cette plante : 1° que les fibres libériennes disparaissent dans la partie souterraine; 2° qu'au lieu de l'anneau ligneux aérien, il se forme des faisceaux séparés par de grands rayons médullaires non lignifiés dans la région de la tige développée dans le sol; 3° que dans ces faisceaux la lignification n'atteint que les vaisseaux qui ne forment que la minorité du tissu.

Le rhizome de *Physalis Alkekengi*, que j'ai eu l'occasion d'étudier, possède une structure presque identique à celle de la tige souterraine du *Solanum*. A la périphérie d'une écorce très développée, il naît une couche subéreuse très régulière dans l'épiderme; cette couche est formée de trois assises de cellules. Le parenchyme cortical présente à la périphérie un tissu formé de cellules à parois non épaissies; le collenchyme, qu'on trouve à cet endroit dans les tiges aériennes des Solanées, n'existe pas dans la tige souterraine de la plante dont il est question, seulement il se forme des méats intercellulaires à la place des épaississements cellulotiques. L'endoderme, qui termine l'écorce, est aussi net que possible, et les ponctuations y sont très visibles. En dedans de l'endoderme, il existe ici une assise de fibres libériennes à cavité très grande et à épaisseur faible. L'anneau ligneux est complet, mais très peu épais; il y a donc là une différence avec la tige

enterrée du *Solanum tuberosum*. A l'intérieur de l'anneau ligneux, on rencontre un liber interne très caractérisé par les tubes criblés, bordé du côté de la moelle par des fibres libériennes.

Les parties souterraines de ces plantes sont surtout caractérisées par la *formation précoce de la couche subéreuse, le grand développement de l'écorce, la faible lignification*.

BORRAGINÉES.

Anchusa italica. — La tige aérienne (pl. VII. fig. 80) présente dans l'écorce un tissu collenchymateux se terminant par un endoderme (*end*) formé de grandes cellules se différenciant nettement du liber à parois épaissies. Ce dernier tissu est seulement cellulosique et ne possède pas de fibres. Le tissu ligneux forme un anneau complet autour de la moelle, et les trachées du bord interne de cet anneau sont isolées dans un parenchyme mou.

La partie souterraine de la tige se termine par une couche subéreuse très puissante qui a exfolié une partie de l'écorce primaire; on ne distingue plus la limite du parenchyme cortical en face des rayons médullaires; on voit un peu plus nettement l'endroit où doit s'arrêter le tissu libérien. Dans la région interne, ce dernier tissu, exclusivement mou, est formé de cellules disposées en files radiales. Les faisceaux ligneux sont énormes et séparés par de très puissants rayons médullaires (fig. 81, *rm*) non lignifiés. Les faisceaux du bois présentent eux-mêmes une très grande irrégularité dans la lignification; les parties lignifiées sont disposées en T dont la barre horizontale est à l'extérieur, tandis que la tige verticale est dirigée dans le sens du rayon; on constate que le parenchyme qui entoure les vaisseaux dans cette région interne n'est pas lignifié. La moelle est très réduite; son épaisseur n'est que de 100 divisions micrométriques, tandis qu'elle est de 280 dans la partie aérienne.

La structure du *Cynoglossum officinale* est presque identi-

que, seulement la moelle de la tige aérienne est ici fortement lignifiée et ponctuée; les vaisseaux annelés et spiralés sont entourés par un parenchyme non lignifié assez important.

La partie souterraine du *Lithospermum officinale* est absolument semblable à celle de l'*Anchusa*. C'est-à-dire qu'il y existe d'énormes faisceaux ligneux séparés par de grands rayons médullaires non lignifiés; les faisceaux sont formés également de petits groupes de vaisseaux isolés au milieu du parenchyme non lignifié. Le tissu médullaire est, d'ailleurs, très réduit; quant au liber, il est formé de cellules empilées les unes derrière les autres en files radiales. Dans la partie aérienne, on voit de même un endoderme formé de grandes cellules sans ponctuations terminant une écorce peu développée; le liber, peu important, est exclusivement mou; le bois forme un anneau complet entièrement lignifié.

J'ai retrouvé quelques-uns de ces caractères dans la tige aérienne du *Pulmonaria angustifolia*, l'endoderme, par exemple, est encore formé de grandes cellules existant à la périphérie du corps central, et le liber est exclusivement mou. On observe cependant quelques différences: l'écorce offre du tissu collenchymateux aux angles, les faisceaux primaires sont isolés et au nombre d'une dizaine de tailles différentes. Dans le rhizome de cette plante, le parenchyme cortical est considérablement développé tandis que la moelle est très réduite; l'accroissement du parenchyme cortical tient à une grande multiplication des cellules formant ce tissu. On voit bien la ligne de démarcation du cylindre central et de l'écorce à cause de la différence de taille des cellules du parenchyme cortical et de celles du liber. Ce dernier tissu est exclusivement mou, sans fibres; il est de plus formé d'un empilement de cellules dans le sens radial, comme cela arrive si fréquemment dans les rhizomes. La couche génératrice libéro-ligneuse a donc fonctionné avec une grande activité; aussi il est assez inexplicable que M. Vaupell (1) ait regardé cette plante comme ne présentant pas de formations secondaires dans le rhizome. Les

(1) *Loc. cit.*

faisceaux ligneux sont considérables, et ils sont groupés en deux arcs importants; ces faisceaux sont formés simplement de vaisseaux disséminés très irrégulièrement au milieu de parenchyme non lignifié.

Les Borraginées précédentes offrent donc, en somme, dans les parties souterraines : 1° *un accroissement important de l'écorce qui se termine par une couche subéreuse*; 2° *une grande réduction de la moelle*; 3° *une lignification très irrégulière dans les faisceaux ligneux souvent séparés par des rayons médullaires non lignifiés, tandis qu'il existe un anneau ligneux complet dans la tige aérienne.*

CONVOLVULACÉES.

Calystegia sepium. — Il y a longtemps que Germain de Saint-Pierre a signalé les caractères du *Calystegia sepium* (1). Lorsque les tiges pendantes, filiformes de cette plante, touchent le sol humide, elles s'y introduisent par leur sommet et continuent à s'y allonger; on constate même qu'en approchant du sol elles commencent à s'épaissir; sous le sol, elles prennent la forme de tubercules cylindriques rameux et blancs. A l'automne, la partie aérienne se détruit et les tubercules continuent à végéter sous terre.

Il était intéressant de comparer les changements de structure de cette plante à ceux de la Ronce, lorsqu'elles s'enracinent toutes les deux. On a déjà vu quelles modifications profondes se produisaient dans la tige du *Rubus* lorsqu'elle pénètre naturellement dans le sol. Je vais maintenant comparer la tige aérienne à la tige souterraine du *Calystegia*.

Au premier entre-nœud de la tige aérienne, on constate que le parenchyme cortical est peu développé et formé de très petites cellules. Les vaisseaux du bois ont un volume important, ainsi que la moelle. Au cinquième entre-nœud, la chlorophylle est encore localisée sous l'épiderme; cette der-

(1) *Bull. de la Soc. bot. de France*, t. II, p. 147.

nière assise porte des poils peu développés. Le parenchyme cortical présente de grandes cellules à l'intérieur, tandis que celles de la périphérie sont un peu plus petites (pl. VIII, fig. 82); l'endoderme est constitué par une assise régulière de cellules sans ponctuations (fig. 82, *end*). Le liber, peu important (*le*), est exclusivement mou; le bois forme un anneau complet (*b*). A la périphérie de la moelle, on constate l'existence d'un tissu formé de très petites cellules, qui est un liber interne (*li*). Ce liber est surtout développé en face des faisceaux primaires.

Dès le premier entre-nœud de la partie souterraine, le parenchyme cortical prend un développement considérable; ce tissu présente, en effet, quatre ou cinq assises de cellules, on observe, au même entre-nœud souterrain, une quinzaine d'assises irrégulières. L'amidon est encore localisé dans l'endoderme qui n'offre pas de ponctuations. Les faisceaux du bois, qui précédemment forment un cercle continu, n'existent plus ici qu'au nombre d'une vingtaine pour toute la tige; ainsi, dans un faisceau, il n'y a qu'un seul vaisseau; dans un autre, on en compte neuf, et c'est le maximum: il y a donc un retard considérable dans la lignification. Il est à remarquer que les vaisseaux du bois naissent au milieu du méristème qui existe tout autour de la moelle; ils ne naissent pas près de la moelle; le liber interne et le liber externe ont donc le même tissu pour origine. Au cinquième entre-nœud de la partie souterraine, l'épiderme est nettement subérifié et formé de cellules allongées dans le sens radial. On distingue deux régions dans le parenchyme cortical (fig. 83): une région externe formée de très petites cellules, une région interne formée d'éléments beaucoup plus grands. Toutes ces cellules, ainsi que celles de la moelle, contiennent une très grande quantité d'amidon, les cellules du cercle libéro-ligneux n'en contiennent pas, et forment un anneau clair à la périphérie de la moelle. L'endoderme, qui entoure le cylindre central, est très régulier, mais ne présente pas de ponctuations (fig. 83, *end*). La figure 83 montre bien nettement à quel état de dégradation sont restés

les faisceaux ligneux. Dans des parties beaucoup plus âgées de la partie souterraine, la même structure se maintient.

On constate donc plusieurs faits :

1° *Le parenchyme cortical prend un accroissement très important dans la partie souterraine ; 2° il existe un anneau ligneux dans la partie aérienne, tandis que les faisceaux libéro-ligneux restent isolés dans la partie enterrée, et la lignification est aussi peu avancée que possible dans chaque faisceau ; 3° il se forme une masse considérable d'amidon dans la partie développée sous le sol.*

II. La structure de la tige aérienne du *Convolvulus arvensis* offre quelques différences avec celle décrite précédemment : il existe d'abord des fibres libériennes immédiatement en dedans de l'endoderme, elles sont peu épaissies, l'anneau qu'elles forment est interrompu, et une seule assise de cellules contribue à les former ; par tous ces caractères, cette plante est voisine des Solanées. Le liber interne rapproche aussi cette plante de cette dernière famille, mais il n'existe pas de fibres dans cette région ; ce liber forme des groupes bien développés en dedans et en face chaque faisceau ligneux primaire.

Dans le rhizome, l'épiderme est subérifié, les fibres libériennes ont presque complètement disparu ; la couche génératrice a développé beaucoup le liber mou. La grande différence avec le *Calystegia* tient à la constitution de l'anneau ligneux ; dans la plante dont il s'agit, l'anneau ligneux est presque complet et la lignification est assez régulière. On trouve d'ailleurs, pour le développement de la moelle et de l'écorce, les nombres suivants :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce.....	18	35
Moelle.....	45	57
Rapport de la moelle à l'écorce.	2,5	1,6

En résumé, on observe, dans cette plante, *l'accroissement de l'écorce, la disparition des fibres, la réduction du rapport de la moelle à l'écorce et l'apparition d'amidon* en grande abondance dans la tige souterraine.

GENTIANÉES.

Gentiana bavarica. — Je n'ai eu l'occasion d'étudier qu'une plante de cette famille, le *Gentiana bavarica*, que j'ai récolté dans le Tyrol.

L'épiderme de la tige aérienne est très cuticularisé ; le parenchyme cortical est un tissu très développé qui se termine par une assise régulière sur les faces latérales desquelles je n'ai pas vu de ponctuations. La première assise du cylindre central est très distincte, les cellules qui la forment sont beaucoup plus petites que celles de l'endoderme, mais nettement séparées des cellules encore plus petites du liber. Ce qui frappe surtout dans cette tige, c'est la régularité avec laquelle sont disposés en cercle l'endoderme, le liber et le bois. Le tissu libérien est exclusivement mou ; l'anneau ligneux est bien plus important que l'anneau précédent. La moelle est peu développée et présente 25 divisions micrométriques d'épaisseur.

Dans la partie souterraine, une couche subéreuse importante a exfolié une grande partie de l'écorce. L'anneau libérien entoure l'anneau ligneux ; ce dernier est complet comme dans la partie aérienne, mais les vaisseaux sont orientés bien plus irrégulièrement. C'est surtout par l'épaisseur très faible de la moelle que cette tige se rapproche des tiges souterraines ordinaires ; en effet, la moelle n'a plus que 15 divisions micrométriques au lieu de 25 de la partie aérienne.

On trouve donc, chez cette plante, une *réduction très forte du tissu médullaire* dans la partie de la tige qui est restée sous le sol.

ASCLÉPIADÉES ET APOCYNÉES.

Ces deux familles présentent beaucoup d'affinités, aussi je crois ne pas devoir les séparer.

I. *Vincetoxicum officinale*. — La tige aérienne, ainsi que la partie souterraine de cet organe, présentent plusieurs caractères communs dans le *Vincetoxicum officinale*. Le parenchyme cortical est formé de très petites cellules en dedans de l'épiderme; le volume de ces cellules va en croissant jusqu'à ce qu'on arrive à des groupes de fibres qui se trouvent comme au milieu de l'écorce; il est impossible, en effet, de distinguer d'assise analogue à l'endoderme. Le nombre de ces fibres est d'ailleurs très différent dans la partie aérienne et dans la région souterraine; ces fibres sont réunies par groupes de quarante à cinquante dans le premier cas; dans le second, elles sont réduites à des groupes de six, cinq et même trois fibres; un autre caractère s'applique aux deux régions, ces éléments de soutien ne jaunissent pas par le sulfate d'aniline. En dedans du cercle de ces groupes fibreux, il existe un tissu formé de grandes cellules communiquant librement avec le parenchyme cortical. Enfin on trouve, à la périphérie du bois, un cordon peu épais, formé de cellules très petites, mais on ne voit pas de limites précises entre ce tissu et le parenchyme précédent. Le tissu ligneux forme un anneau dans les deux régions de la tige. Le liber interne présente les mêmes caractères, il est formé dans les deux cas, de tissu mou exclusivement; on constate qu'il existe des groupes de petites cellules analogues à celles qui ont été signalées dans le liber interne des Solanées; ces groupes sont d'ailleurs séparés entre eux par des espèces de rayons médullaires internes. Si l'on compare les épaisseurs de la moelle et du parenchyme cortical s'étendant depuis l'épiderme jusqu'aux groupes de fibres, on trouve les nombres suivants :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Parenchyme cortical.....	10	24
Moelle.....	120	117

On voit donc encore qu'il y a accroissement du parenchyme cortical et réduction de la moelle dans la partie enterrée.

II. *Vinca minor*. — La structure du *Vinca minor* est presque identique à celle du *Vincetoxicum*. A la place de l'épiderme cuticularisé de la tige aérienne de la Pervenche, il existe, à la périphérie de la partie souterraine, une couche subéreuse formée de deux assises de cellules qui ont été envahies par la subérine dans les régions externes. Le parenchyme cortical de cette plante se termine par une assise de cellules n'offrant pas de ponctuations, mais assez bien assimilable à l'endoderme. Dans la région enterrée, le parenchyme cortical est beaucoup plus développé que dans la tige aérienne, et ce tissu se termine par un endoderme bien visible, subérifié en un certain nombre de points. On observe, à l'intérieur de la dernière assise corticale, des groupes de fibres tout à fait semblables à ceux du *Vincetoxicum* ; ce sont, en effet, des paquets irréguliers s'avancant dans le liber mou. Ces fibres libériennes n'existent plus qu'en petit nombre dans la partie souterraine. Dans les deux parties de la tige, le bois forme un cercle complet, et le liber interne a la structure ordinaire de ce tissu ; il est formé de plusieurs groupes de petits tubes criblés. Le tissu médullaire n'est pas résorbé dans la partie souterraine, il contient une grande quantité d'amidon qui ne se retrouve pas dans la tige aérienne. Enfin on trouve pour épaisseur de la moelle et de l'écorce :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE SOUTERRAINE.
Écorce	21	30
Moelle.....	77	65

L'étude de ces deux petites familles donne donc des résultats aussi nets que possible. L'action du milieu se fait sentir dans les parties enterrées : 1° *par la formation d'une couche subéreuse*; 2° *par l'accroissement de l'écorce*; 3° *par la réduction des fibres*; 4° *par la diminution du diamètre de la moelle*.

RUBIACÉES.

Galium Mollugo. — Lorsqu'on arrache une touffe de *Galium Mollugo*, on voit que toutes les tiges aériennes partent d'une seule et même partie souterraine extrêmement ramifiée, noueuse et d'un brun rougeâtre (pl. VIII, fig. 84).

Si l'on compare les extrémités de deux tiges de cette plante, l'une développée à l'air et l'autre sous le sol, on trouve immédiatement des différences importantes entre ces deux parties. La plus saillante tient certainement à l'accroissement considérable que prend le parenchyme cortical.

Le deuxième entre-nœud, à partir de l'extrémité de la tige aérienne, présente une section carrée, avec quatre ailes très importantes aux coins de la coupe; il se produit souvent, en outre, sur les pans de la tige, des saillies qui arrivent même en certains points à faire des ailes nouvelles; dans ces saillies de la tige, on ne distingue pas de tissu collenchymateux renforçant les appendices dont on vient de parler. Il tend à se former dans le parenchyme cortical des lacunes qui sont dues à ce que l'épiderme et la couche sous-jacente se détachent en beaucoup de points des assises corticales plus profondes. Le cylindre cortical est encore peu différencié, et, à cette faible

distance du sommet, on constate seulement l'existence d'un anneau ligneux peu développé.

Si l'on coupe maintenant le deuxième entre-nœud de la tige souterraine, on remarque que le diamètre de cette tige augmente ; sa section est encore carrée, mais les ailes qui existent dans la partie aérienne ont complètement disparu. Le grand accroissement de la tige souterraine est dû au développement considérable du parenchyme cortical. En effet, tandis que l'épaisseur de l'écorce est de 10 divisions micrométriques, elle est de 46 dans la tige enterrée. Le tissu médullaire s'est également beaucoup accru, mais cet accroissement est plus faible que celui de la moelle. On trouve en effet :

TISSUS.	TIGE AÉRIENNE.	TIGE ENTERRÉE.
Écorce	10	45
Moelle.....	19	52
Rapport de la moelle à l'écorce.	1,9	1,1

La différenciation du cylindre central est d'ailleurs peu avancée, il y a un anneau ligneux autour de la moelle très peu épais.

Au troisième entre-nœud aérien, il se forme jusqu'à six saillies sur la tige. Dans la partie souterraine, au même niveau, le cylindre central seul est plus grand que la tige aérienne.

Lorsque la tige, qui a subi ces modifications, continue à se développer sous le sol, elle grossit, se ramifie et bientôt une lignification accentuée est manifeste ; le rhizome devient dur, et les couches externes prennent une teinte rougeâtre. Lorsqu'on examine ces parties âgées en section transversale, on voit que la lignification a été nette, que la moelle est considérablement réduite, et qu'une couche subéreuse existe maintenant à la périphérie de la tige. Dans cette tige souterraine âgée, on remarque que les cellules subéreuses contiennent un suc d'un très beau jaune et que les cellules libériennes, au pourtour du bois, offrent une teinte rouge très nette.

Lorsqu'on racle le suber qui est rouge, la partie mise à nu est jaune, au bout de quelques minutes elle devient rouge; si l'on fait une coupe, au bout de quelques instants, dans cette partie, on voit que la région externe est rouge; plus à l'intérieur on retrouve le suc jaune et enfin le suc rouge. La micor-chimie est malheureusement trop peu avancée pour donner l'explication de tous ces phénomènes.

En résumé, on voit que pendant que la tige aérienne est prismatique et s'allonge en ailes, la tige souterraine est ronde. Cette dernière, en multipliant considérablement ses cellules accroît le parenchyme cortical et la moelle, mais l'accroissement du premier tissu est bien plus important. Quand la tige souterraine vieillit, la comparaison avec une tige aérienne ne peut plus se faire, car celle-ci est d'un âge moins avancé, mais on constate cependant l'apparition d'une couche subéreuse et la réduction du tissu médullaire qui sont dues à l'action du milieu.

II. *Galium Cruciata*. — La partie souterraine dont je veux parler était à peine enfoncée dans le sol et la tige aérienne qui lui faisait suite rampait à la surface. En faisant deux sections de cette tige dans deux parties très voisines, l'une au-dessus, l'autre au-dessous du sol, les différences anatomiques sont peu importantes, mais la faiblesse de la variation est intéressante parce qu'elle donne l'effet immédiat du changement de milieu. On trouve que, dans la partie aérienne, l'épiderme est seulement cuticularisé; le parenchyme cortical est composé de cellules parfaitement vivantes contenant de la chlorophylle; les parois latérales entières de l'endoderme se colorent en rouge par la fuchsine car elles sont subérifiées. Dans la partie souterraine très voisine, la subérification a envahi tout le parenchyme cortical et toutes ses cellules sont mortes; ceci se traduit extérieurement par l'aspect de l'épiderme qui dans cette région est ridé et brunâtre.

Ainsi, on voit que le séjour sous le sol modifie complètement cette plante, bien que l'on ne constate pas la disparition de cer-

tains appareils, la distance étant trop faible entre les deux points observés pour que les changements soient aussi grands; les cellules du parenchyme cortical sont écrasées, mortes et subérifiées dans les parties souterraines; les cellules de la partie aérienne sont au contraire tout à fait vivantes.

III. On observe dans l'*Asperula odorata* un changement très net dans la forme de la tige; elle est à quatre angles dans la partie aérienne, elle devient ronde dans la partie souterraine. Il existe à la périphérie du parenchyme cortical, chez cette plante, ainsi que dans le *Galium palustre*, un tissu collenchymateux sous l'épiderme; ce tissu prend un peu plus d'importance dans les angles de la tige aérienne. Le parenchyme cortical de la partie souterraine de cette dernière plante est complètement envahi par la subérine; de plus, chez l'*Asperula odorata* la tige devient uniforme, et le tissu collenchymateux disparaît. Dans les deux cas le tissu médullaire est réduit.

En résumé, chez les tiges souterraines des Rubiacées : 1° la tige devient ronde, 2° le collenchyme tend à disparaître, 3° la subérine peut envahir tout le parenchyme cortical très rapidement, 4° le rapport de la moelle à l'écorce diminue.

DIPSACÉES.

Scabiosa Columbaria.—La partie aérienne possède un tissu collenchymateux au-dessous de l'épiderme; ce tissu est peu important, car il ne comprend que deux assises de cellules, mais les parois de l'assise interne sont très épaissies. L'endoderme est formé de cellules plus petites qui se distinguent nettement du liber dont les éléments ont une taille très faible, les cellules de cette membrane sont très régulières et sans ponctuations, leur section transversale est formée par des rectangles. Les tubes criblés du liber sont très nombreux, et leur longueur est presque double de celle des cellules endodermiques. Le tissu ligneux forme un anneau complet dans lequel

les fibres ligneuses sont très développées; les vaisseaux spirales et annelés sont entourés d'un petit groupe de cellules non lignifiées, petites mais très allongées et à parois horizontales.

La partie souterraine présente une écorce envahie par la subérine jusqu'en son milieu en certains points. Le volume des cellules a changé : dans la partie aérienne, les cellules de l'écorce sont plus petites de beaucoup que celles de la moelle; dans la partie souterraine, au contraire, les cellules de l'écorce sont en moyenne un peu plus grosses que celles de la moelle, et l'endoderme est peu net. Le liber, qui est exclusivement mou comme dans la partie aérienne, est très développé; ce tissu est formé de cellules disposées en files radiales très régulières de trente ou quarante éléments les unes à la suite des autres. Les tubes criblés sont peu abondants, le tissu le plus externe est formé de cellules tabulaires, alternant les unes par rapport aux autres en section longitudinale. Le bois forme un cercle complet autour de la moelle, mais dans les parties externes la lignification se fait très irrégulièrement; le tissu parenchymateux, qui sépare les vaisseaux, et qui se trouve au milieu de l'anneau ligneux sans être lignifié, est formé de cellules parallélipédiques un peu allongées longitudinalement; les vaisseaux du bois sont isolés ou réunis par petits groupes. La réduction de la moelle est très sensible; elle est mesurée par 200 divisions micrométriques dans la partie aérienne, tandis qu'elle n'en offre que 120 dans la partie souterraine.

Cette plante montre donc dans la partie souterraine : 1° un dépôt de subérine dans un certain nombre de cellules de l'écorce; 2° une lignification irrégulière dans l'anneau ligneux; 3° une réduction très sensible de la moelle.

VALÉRIANACÉES.

Valeriana dioica. — Le parenchyme cortical est assez bien développé chez le *Valeriana dioica* dans la partie aérienne, mais incomparablement moins que la moelle. Ce premier

tissu se termine par un endoderme présentant des ponctuations extrêmement nettes; cette membrane est ondulée, et les ondulations correspondent aux saillies des faisceaux; en face de ces derniers, l'aspect de l'endoderme change légèrement, la subérine, qui était localisée aux ponctuations, s'étend sur toutes les parois. Le liber qui existe à l'intérieur de cette membrane est exclusivement mou, il est disposé en anneau autour du bois qui est également de forme annulaire. Cet anneau ligneux est constitué par les faisceaux primaires réunis par des arcs de parenchyme ligneux résultant de la transformation du tissu fondamental à la partie interne des rayons médullaires. La moelle est très nettement lignifiée dans toute la région périphérique, on n'y constate pas l'existence de fibres à la pointe interne des faisceaux ligneux, cependant le tissu médullaire laisse entre les trachées et son assise externe un petit îlot non lignifié.

Dans la partie enterrée de cette plante, on retrouve plusieurs caractères qui indiquent nettement sa nature souterraine. On constate d'abord la *prédominance de l'écorce sur la moelle*; cette différence tient, en partie, à la taille des cellules, car celles de la moelle sont plus petites que celles de l'écorce. Le parenchyme cortical est limité par une couche subéreuse assez irrégulière mais bien développée. Du côté interne, l'écorce est terminée par un endoderme formé de cellules moins épaisses que les cellules voisines; en certains points, cette membrane devient irrégulière, et elle est quelquefois dédoublée.

COMPOSÉES.

I. *Achillea Millefolium*. — Dans la tige aérienne jeune, l'écorce est extrêmement réduite, et n'offre plus en certains endroits que quatre ou cinq assises de cellules qui présentent les épaississements caractéristiques du collenchyme dans les saillies de la tige; les dernières assises de l'écorce ont leurs parois moins épaisses (pl. VIII, fig. 85 *col* et *pc*). L'endo-

derme (*end*) qui termine le parenchyme cortical, ne présente pas de ponctuations sur les parois latérales, cette assise est très régulière. Il existe un important tissu de soutien à la périphérie du cylindre central; les fibres qui se présentent en dehors des faisceaux du bois sont un peu plus petites que celles qui sont à l'extrémité des rayons médullaires, mais il est impossible d'établir de démarcation entre ces deux parties. Le liber mou est extrêmement réduit; cependant, il est certain que la partie la plus interne des fibres, dont je viens de parler, fait partie des faisceaux libériens, sans qu'on puisse assigner de limite pour ces fibres libériennes; certains faisceaux libériens montrent une réduction tout à fait extraordinaire du liber mou qui n'est plus représenté que par deux ou trois cellules (fig. 85, l_1); on voit également, en d'autres points, le liber mou divisé en deux petits îlots, car les fibres rejoignent les faisceaux ligneux. Ces derniers sont peu développés, et leur pointe intérieure présente un parenchyme non lignifié, bordé du côté de la moelle par un arc de fibres (fig. 85); on observe que dans certains faisceaux le liber mou rejoint les cellules non lignifiées qui se trouvent à la partie intérieure du bois.

Dans une tige aérienne plus âgée, le cylindre central ne présente plus des saillies aussi fortes que précédemment; ces points, où le cylindre central s'avance dans l'écorce, correspondent aux saillies de la jeune tige. Les fibres libériennes s'isolent, et l'anneau de soutien est remplacé par un anneau ligneux très important résultant du jeu de la couche génératrice centrale.

Dès qu'on pénètre sous le sol, on voit l'épiderme se recouvrir d'une couche noirâtre très épaisse ou se subérifier; en même temps on constate l'accroissement du parenchyme cortical et la diminution de la moelle; les fibres libériennes, qui formaient précédemment des groupes homogènes, se divisent et diminuent de nombre, il se produit ensuite une couche subéreuse. Dans une partie plus âgée, l'endoderme est subérifié, des canaux sécréteurs s'y forment; les fibres libériennes

deviennent de moins en moins nombreuses et finissent par disparaître entièrement. L'anneau ligneux, qui était resté homogène, présente de grands rayons médullaires à sa périphérie ; la lignification se fait donc très irrégulièrement.

Lorsque l'on compare à la jeune tige aérienne un jeune rhizome qui ne s'est pas encore prolongé en une pousse au-dessus du sol, on voit que les différences entre ces deux parties sont frappantes. En dessous de l'épiderme subérifié (fig. 86), il se produit une couche subéreuse importante (*cs*) ; le parenchyme cortical (fig. 86, *pc*) est très développé, il présente à sa partie interne des canaux sécréteurs (*cr*) formés au voisinage de l'endoderme peu régulier. Les fibres libériennes sont absentes ; le bois forme un anneau régulier bien développé (*b*)

Cette étude montre donc que, dans la partie souterraine : 1° le développement du suber est rapide ; 2° l'écorce s'accroît beaucoup ; 3° les fibres libériennes diminuent et disparaissent ; 4° l'anneau ligneux qui existe dans les jeunes rhizomes devient irrégulier dans les vieux, car la lignification s'y reproduit sans ordre.

II. Je vais étudier maintenant les diverses modifications présentées dans les différents tissus des autres plantes de cette famille que j'ai pu examiner.

1° *Epiderme et couche subéreuse*. — J'examinerai d'abord les tissus de protection. L'*Artemisia mutellina* est une plante populaire du Tyrol qui vit, comme on sait, sur les hautes montagnes ; j'ai récolté cette espèce sur les bords du glacier du Gross Venediger, dans les Alpes autrichiennes. Comme cette plante croît dans la région alpine supérieure, elle possède un puissant appareil de protection. Dans les tiges aériennes, l'épiderme offre une cuticule épaisse ; mais c'est surtout dans le rhizome, qui doit rester l'hiver sous la neige, qu'une couche subéreuse importante se forme (pl. VIII, fig. 88). On retrouve cette couche subéreuse plus puissante dans le *Gnaphalium Leontopodium*, l'Edelweiss. On observe les mêmes faits chez le *Gnaphalium supinum*, et chez le *Chrysanthemum alpinum*.

Cette couche subéreuse est bien moins développée dans le *Solidago Virga-aurea*. Chez d'autres plantes, comme le *Tussilago Farfara*, l'assise épidermique reste longtemps à peu près intacte, une matière brunâtre se montre seulement à la périphérie; on retrouve quelque chose de semblable dans les rhizomes bien développés du *Doronicum Pardalianches*.

2° *Modifications du parenchyme cortical.* — Le parenchyme cortical, peu développé dans la partie aérienne, n'offre qu'un faible tissu collenchymateux; il se modifie beaucoup dans les parties souterraines en produisant des canaux résineux. Si l'on examine soit le *Doronicum plantagineum*, soit le *Doronicum Pardalianches*, on constate qu'en face chaque faisceau libéro-ligneux, il se forme, aux dépens d'une cellule de l'endoderme, un canal résineux par des divisions successives de cette cellule. M. Van Tieghem (1) a déjà décrit une formation analogue dans les racines et les tiges de certaines Composées. Dans le *Solidago Virga-aurea*, il existe aussi dans le rhizome des canaux sécréteurs adossés à l'endoderme contenant un liquide oléagineux; seulement les canaux sont ici beaucoup plus importants. Ils sont également très régulièrement disposés en face des faisceaux du liber dans le *Petasites albus*.

Dans l'*Aster floribundus*, il existe bien des canaux en face de quelques faisceaux libéro-ligneux, mais ils ont un très faible diamètre, les plus importants se montrent au milieu du parenchyme cortical en face les très grands rayons médullaires qui séparent les faisceaux, les premiers se forment probablement aux dépens de la dernière assise corticale qui est peu nette dans le rhizome.

Dans le *Chrysanthemum alpinum* des canaux se forment aux dépens de l'endoderme, mais ils ne sont pas en face et en dehors des faisceaux libériens; ils se produisent entre eux. Dans l'*Artemisia mutellina* (pl. VIII, fig. 88 cr) leur situation est encore plus indéterminée, mais ils se forment toujours par division de l'endoderme. Enfin, dans les tiges souterraines de

(1) *Mémoire sur les canaux sécréteurs* (Ann. des sciences, t. XVI, p. 113).

l'*Hieracium murorum*, l'*Hieracium Pilosella* et le *Tussilago Farfara*, on n'en trouve pas plus dans la tige aérienne que dans la partie souterraine. Au contraire, dans le *Solidago Virga-aurea*, on voit l'ébauche de canaux sécréteurs, en un point de l'endoderme d'une tige aérienne.

Donc en somme, ces canaux sécréteurs sont toujours incomparablement moins développés dans les tiges aériennes que dans les parties souterraines.

Les vieux rhizomes du *Tussilago Farfara* ont un tissu cortical assez curieux, les cellules le constituant sont très régulières, chacune est hexagonale ou octogonale, et à chacun des angles il existe un méat; aussi l'ensemble de ces cellules forme, en coupe, comme une réunion d'alvéoles régulières.

3° *Endoderme et assise périphérique.* — On vient de dire que l'endoderme peut former des canaux sécréteurs. Cette assise présente différentes variations dans sa structure. L'endoderme offre des ponctuations nettes dans une jeune tige aérienne de l'*Aster Amellus*; ces plissements sont très visibles dans le rhizome du *Doronicum Pardalianches*. Cette membrane est, en général, légèrement subérifiée dans les parties souterraines, comme cela est très visible dans le *Solidago Virga-aurea*. On observe le même fait dans les tiges aériennes du *Gnaphalium Leontopodium*. En vieillissant cette membrane devient moins nette; ainsi, dans un rhizome âgé de l'*Hieracium murorum*, les plissements ne sont pas visibles, la subérification ne s'est pas produite, c'est seulement par le changement d'aspect des tissus qu'on trouve la limite de l'écorce. Enfin, chez le *Petasites albus* et le *Tussilago Farfara*, on ne reconnaît pas l'assise endodermique, et la moelle communique sans interruption avec l'écorce.

On voit donc que l'endoderme peut présenter une série de modifications. Il peut exister d'abord à l'état d'assise unique avec des plissements, cette assise se divise en des points variables et produit des canaux résineux; puis elle se modifie, s'imprègne de subérine, elle subsiste, dans ce cas, longtemps très nette à la périphérie du corps central. Quand cette trans-

formation n'a pas lieu, elle est irrégulière, se déforme et finalement devient méconnaissable; ce n'est qu'en suivant le développement qu'on peut arriver à en constater l'existence.

A l'intérieur de l'endoderme, il existe une assise de cellules qui est, à l'origine, indépendante des faisceaux libéro-ligneux. Ainsi, dans le *Doronicum plantagineum*, j'ai constaté nettement l'indépendance d'une assise de cellules entre l'endoderme et les faisceaux libériens.

4° *Anneau de soutien et fibres libériennes*. — Si l'on examine la tige aérienne de l'*Artemisia mutellina*, on constate qu'il s'y développe un tissu de soutien très important (pl. VIII, fig. 87). D'abord, en face de chaque faisceau libéro-ligneux, il existe un arc de fibres adossées à l'endoderme, ces fibres sont très petites et très nombreuses. Entre les faisceaux libéro-ligneux, le parenchyme fondamental s'est lignifié et transformé en fibres; ce changement s'est également produit vers la pointe interne des faisceaux ligneux, il existe, en cet endroit, un arc de fibres enfermant un tissu parenchymateux non lignifié. Chez le rhizome de cette plante, il n'existe plus une seule fibre (fig. 88).

Chez le *Gnaphalium supinum* il y a, dans la tige florale, un anneau véritable de soutien formé de cellules lignifiées à peu près de même taille sur toute la périphérie du cylindre central; on ne distingue donc pas ici, comme dans le cas précédent, un faisceau de fibres plus petites que les autres, et qui peuvent être regardées comme des fibres libériennes. Ici, les faisceaux libéro-ligneux sont rejetés dans la moelle, loin de l'endoderme; le tissu fondamental contourne les faisceaux, et passe entre le liber et l'endoderme. Le *Chrysanthemum alpinum* présente la même structure. Dans la partie souterraine de ces plantes, il n'y a plus de fibres.

Dans le *Gnaphalium Leontopodium*, les fibres qui se trouvent en face du liber commencent à s'isoler de l'anneau ligneux. L'*Aster Amellus* présente également des groupes de fibres libériennes à l'extérieur et un anneau ligneux à l'intérieur. Cette structure permet de passer à celle du *Solidago Virga-*

aurea ; dans la tige aérienne de cette plante, on remarque, à la périphérie du liber mou, un groupe important de fibres libériennes. Le rhizome de cette même espèce présente une réduction considérable de ces fibres relativement à celles de la tige aérienne où elles forment des arcs étendus ; j'ai compté 127 fibres dans l'un d'eux, tandis que dans le rhizome elles sont réunies au plus au nombre d'une dizaine, quelquefois elles y disparaissent même complètement.

Dans le *Centaurea nigra*, on trouve dans la base souterraine de la tige à peu près la structure de la tige aérienne, cependant les fibres diminuent en nombre dès qu'on pénètre sous le sol. On constate en même temps que le développement de ces derniers éléments est inverse de celui du parenchyme cortical ; ces modifications sont très peu accentuées, mais elles s'effectuent dans le même sens que celles qui ont été trouvées jusqu'ici.

Les fibres libériennes existent aussi dans la tige aérienne et la tige souterraine de l'*Aster Amellus*, seulement la diminution est très nette dans cette dernière partie. Par conséquent, les fibres libériennes peuvent souvent subsister dans les parties souterraines ; on les trouve dans les vieux rhizomes durs de *Tussilago Farfara* auxquels les tiges aériennes transitoires ne sont pas comparables ; il en est de même du *Petasites albus*. On voit donc, par ces exemples, que si les tiges souterraines peuvent présenter des fibres libériennes et même des groupes importants, lorsqu'on passe d'une tige aérienne à la tige souterraine qui fait suite, on trouve toujours une réduction des fibres.

5° *Liber secondaire et couche génératrice libéro-ligneuse*.—Le *Carlina acaulis* est une plante d'altitude peu élevée ; je l'ai trouvé à environ 1800 mètres près du col du Tauern ; le gros capitule de cette espèce est immédiatement appliqué sur le sol, il est donc impossible de comparer la partie souterraine à une tige nettement aérienne. Les vieux rhizomes de cette plante allongés et noirâtres présentent une structure spéciale. L'écorce primaire est exfoliée en partie, l'endoderme

est encore assez bien indiqué en certains points ; aussi voit-on que le liber a pris un énorme développement. Il n'existe pas, en effet, de fibres à la périphérie des faisceaux, ce tissu libérien est exclusivement mou ; le liber présente la disposition radiale qui a déjà été rencontrée dans un certain nombre de vieux rhizomes chez lesquels l'activité de la couche génératrice a été très grande ; les files radiales vont jusqu'à l'extrémité de ce tissu. La principale singularité de cette plante est la formation, aux dépens du liber secondaire, d'un nombre considérable de canaux sécréteurs ; ceux qui existent à la périphérie sont très développés, et leur diamètre diminue beaucoup vers la couche génératrice ; il peut y avoir ainsi dans un faisceau libérien jusqu'à huit canaux résineux de tailles diverses. Ils se présentent, non seulement dans le liber, mais aussi dans les rayons médullaires. La couche génératrice cambiale peut fonctionner avec beaucoup d'activité dans un grand nombre de rhizomes de Composées, mais sans atteindre un accroissement aussi grand que celui qui vient d'être décrit. Le *Solidago Virga-aurea* présente un développement moyen. Dans le *Solidago alpestris*, le liber est peu en retard sur le bois. Chez certaines plantes, comme l'*Hieracium murorum*, l'*Aster Amellus*, c'est surtout du côté du bois que la couche génératrice est active. Enfin, dans l'*Artemisia mutellina*, le *Chrysanthemum alpinum*, l'activité de la couche génératrice est bien moins intense.

Cette activité de la couche génératrice est très variable dans les tiges aériennes. Chez le *Gnaphalium supinum*, l'*Artemisia mutellina*, les faisceaux sont fermés, car ils sont entourés de tous côtés par un anneau de soutien. Ces faisceaux sont également fermés mais étalés dans le *Solidago alpestris* ; chez le *Gnaphalium Leontopodium* l'agrandissement est aussi très grand, mais la zone génératrice n'apparaît pas. Cette couche commence à se montrer dans la tige florale de l'*Hieracium murorum*. Enfin, pour le *Solidago Virga-aurea*, les fibres libériennes sont séparées de l'anneau de soutien, aussi la couche génératrice peut-elle fonctionner ; elle produit surtout du

bois et le développement du liber reste très faible. On observe les mêmes faits dans la tige aérienne du *Centaurea nigra*

6° Bois. — On vient de voir précédemment que les faisceaux peuvent être ouverts ou fermés chez les tiges aériennes. Dans le rhizome du *Solidago Virga-aurea*, au lieu de l'anneau ligneux complet de la tige aérienne, on observe que le tissu ligneux se divise en plusieurs régions ; à la périphérie de la moelle, il existe un anneau ligneux complet ; en dehors de cet anneau, on rencontre des faisceaux secondaires étalés de tailles diverses séparés par d'énormes rayons médullaires non lignifiés ; dans ces faisceaux secondaires, la lignification s'est produite très irrégulièrement, de sorte que les vaisseaux se trouvent au milieu d'un parenchyme ne se colorant pas par le sulfate d'aniline ; enfin, en plusieurs endroits, en dehors d'un faisceau primaire et en face de lui la lignification ne s'est pas produite du tout. En somme, les rayons médullaires sont très nombreux, très larges, et la lignification ne s'est pas étendue aux cellules qui les composent ; dans les faisceaux eux-mêmes la lignification a été très irrégulière.

Le rhizome de l'*Hieracium murorum* présente à peu près la même structure, seulement avec une irrégularité plus grande encore ; c'est surtout dans les faisceaux que la lignification se produit sans ordre, car les rayons médullaires sont bien moins développés.

Chez un vieux rhizome de l'*Aster Amellus*, la lignification s'est produite régulièrement ; cependant on est averti de la nature souterraine de l'organe par l'existence en deux points de larges rayons médullaires non lignifiés ; vers la périphérie de l'anneau, la structure change entièrement, les faisceaux seuls sont lignifiés, et il existe entre eux d'énormes rayons médullaires où la lignine ne s'est pas déposée.

La structure est différente chez certains rhizomes de plantes qui ont des faisceaux fermés dans la tige aérienne. Ces faisceaux restent isolés dans la tige souterraine, des arcs fibreux ne réunissent pas les faisceaux entre eux ; le rhizome d'*Artemisia mutellina* (pl. VIII, fig. 88 b) offre cette orga-

nisation, les faisceaux du bois tendent à s'étaler. Cette structure est intermédiaire entre celle qui a été signalée précédemment et celle des rhizomes du *Tussilago* et du *Petasites*. Dans les premières plantes, les faisceaux ligneux sont très étalés, et la lignification s'y produit irrégulièrement; il s'y forme des rayons médullaires secondaires. Dans les derniers, les faisceaux sont bien lignifiés, très denses, peu étalés; la lignification est complète dans tous les éléments de chacun d'eux; en outre, les rayons médullaires qui les séparent sont uniquement primaires. On peut placer entre ces deux groupes le *Gnaphalium supinum* et le *Solidago alpestris*.

Le *Carlina acaulis* offre dans son rhizome une structure spéciale; l'activité de la couche génératrice est considérable, et les faisceaux du bois s'allongent beaucoup. Ils restent séparés par des rayons médullaires nombreux et assez bien développés. L'épaisseur des faisceaux du bois est faible; comme la lignification ne s'étend qu'aux vaisseaux et que ceux-ci sont peu nombreux, il existe des points où l'épaisseur tangentielle du faisceau se réduit à un vaisseau.

Le *Tussilago Farfara* et le *Petasites albus* présentent une particularité qui a déjà été signalée dans un certain nombre de rhizomes. Il existe, à la pointe interne de chaque faisceau ligneux, un groupe de fibres très épaisses le bordant du côté de la moelle, comme les fibres libériennes bordent le liber mou à l'extérieur.

7° *Moelle*. — Je ne veux citer relativement à ce tissu qu'un fait spécial à l'*Aster Amellus*. On constate que la moelle de cette plante est lignifiée aussi bien dans la tige aérienne que dans la tige souterraine.

8° *Comparaison des épaisseurs de la moelle et de l'écorce*. — Si l'on compare les épaisseurs de la moelle et de l'écorce on trouve toujours les mêmes résultats :

NOMS DES ESPÈCES.	TIGE AÉRIENNE.			TIGE SOUTERRAINE.		
	ÉPAISSEUR DE		RAPPORT de la moelle à l'écorce.	ÉPAISSEUR DE		RAPPORT de la moelle à l'écorce.
	l'écorce.	la moelle.		l'écorce.	la moelle.	
<i>Artemisia mutellina</i> ..	6	50	8	43	73	1,6
<i>Hieracium murorum</i> ..	16	270	16	35	60	1,7
<i>Solidago Virga-aurea</i> ..	10	190	19	35	100	2,8
<i>Chrysanthemum alpi- num</i>	7	43	6	30	45	1,5

Ce tableau montre que le parenchyme cortical croît dans les parties souterraines, et que le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible dans les tiges enterrées.

On pourrait multiplier les exemples. Dans le *Gnaphalium Leontopodium*, l'écorce est exfoliée, mais la moelle est très réduite, son épaisseur est de 56 divisions micrométriques dans la partie souterraine et de 65 dans la tige aérienne, qui est beaucoup plus jeune. Dans une tige florale du *Tussilago Farfara* dont la base était souterraine, on constate également des différences très importantes dans l'épaisseur de l'écorce; tandis qu'elle est de 14 divisions micrométriques dans la partie aérienne, elle en atteint 30 dans la partie souterraine. Chez le *Centaurea nigra*, quoiqu'il n'y ait pas de rhizome, la base de la tige étant seulement souterraine, on constate également des différences dans le même sens, seulement elles sont faibles. Ainsi l'écorce a une épaisseur de 12 divisions micrométriques sous terre, et de 9 dans la partie aérienne. Dans la moelle de cette plante, on observe une variation en sens inverse : l'épaisseur de ce tissu dans la partie aérienne étant de 180 est de 140 dans la partie enterrée; il y a donc diminution de la moelle.

Au total, on trouve dans les parties souterraines de ces plantes tous les caractères qui ont été rencontrés jusqu'ici dans cette région des tiges.

III. *Hieracium Pilosella*. — Il me semble intéressant, à la fin de ces recherches, d'exposer, en prenant une plante pour exemple, toute la complication du problème que je me suis posé. Je crois utile de montrer combien l'anatomie comparée seule aurait été insuffisante pour arriver à lever toutes les contradictions apparentes qu'on observe en comparant les structures des différents organes d'une même plante.

L'*Hieracium Pilosella* présente dans sa tige quatre parties offrant chacune une structure spéciale : les pédoncules floraux, les stolons qui rampent à la surface du sol, les jeunes rhizomes et les vieux rhizomes : en somme, deux sortes de régions aériennes et deux sortes de régions souterraines. Dans ces quatre parties de la tige on trouve des structures différentes qui paraissent d'abord irréductibles entre elles. L'expérience seule pouvait guider pour faire comprendre des organisations si diverses. Je vais d'abord examiner chacune de ces parties.

1° *Pédoncule floral*. — Le parenchyme cortical est très réduit dans le pédoncule floral, surtout relativement à l'important développement de la moelle qui est résorbée au centre de la tige, et dont il reste quelques lambeaux au bord interne de l'anneau formé par les faisceaux du bois. On trouve, en effet, pour les épaisseurs de ces deux tissus : écorce 10, moelle 130 divisions micrométriques. Le cylindre central, encore entouré par un endoderme net, présente des faisceaux libéro-ligneux isolés. Les faisceaux sont fermés, ceci se conçoit car ils sont emprisonnés de tous les côtés dans une gaine de fibres. En effet, le tissu fondamental s'est transformé en fibres entre les faisceaux ; cette transformation s'est opérée également vers le bord interne des faisceaux du bois. En résumé, il existe dans la tige aérienne un anneau de soutien qui relie les faisceaux et les englobe.

2° *Stolon*. — Si l'on examine un stolon, une tige aérienne rampant à la surface du sol, on constate déjà de grandes modifications à la structure précédente. Le parenchyme cortical a augmenté, ce tissu se termine par une assise endodermique

très régulière, sur les parois de laquelle on ne voit point de ponctuations, mais une légère subérification. C'est surtout dans le cylindre central que se montrent les grandes différences; on trouve un anneau ligneux, mais l'anneau de fibres de soutien n'existe plus. Entre ce tissu ligneux et l'endoderme, on observe un anneau formé par du liber mou séparé par des rayons médullaires; aucun élément fibreux ne se montre plus dans cette partie. Le tissu ligneux est formé par les faisceaux primaires reliés entre eux par des arcs de fibres et de parenchyme lignifié provenant de la transformation du tissu fondamental. En effet, la couche génératrice n'existe pas; si cependant elle apparaît en quelques points, c'est en face des faisceaux primaires. La couche génératrice libéro-ligneuse peut d'ailleurs se développer maintenant, car les faisceaux ne sont pas enfermés de tous les côtés.

3° *Jeune rhizome*. — Dans un jeune rhizome, le parenchyme cortical croît beaucoup, son épaisseur est de 10 divisions micrométriques dans le pédoncule floral, elle devient 19 dans le stolon et 50 dans le jeune rhizome; le tissu médullaire garde le même diamètre. L'endoderme est subérifié sur toutes ses parois. Mais c'est surtout dans le tissu ligneux que les différences se manifestent. Dans le pédoncule floral les faisceaux sont enfermés dans l'anneau de soutien, dans le stolon il existe des arcs de parenchyme lignifié réunissant les faisceaux entre eux. Chez les jeunes rhizomes, les faisceaux restent isolés, le parenchyme intermédiaire ne se lignifie pas. Donc, pour cette partie les fibres libériennes, les fibres ligneuses et le parenchyme lignifié ont disparu.

4° *Vieux rhizomes*. — La structure des vieux rhizomes est également spéciale. Il s'en présente de deux espèces. Leur organisation finale semble succéder, dans les uns, à celle des jeunes rhizomes; dans les autres, à celle des jeunes stolons. Dans les premiers, en effet, on voit que les faisceaux sont isolés. Dans les derniers il existe, à la périphérie de la moelle, un anneau ligneux reliant entre eux les faisceaux primaires; en dehors de cet anneau, les faisceaux sont séparés par

d'énormes rayons médullaires. Ces deux espèces de rhizomes ont d'ailleurs des caractères communs. Le parenchyme cortical, très développé, tend à disparaître, exfolié en partie par une couche subéreuse irrégulière qui naît au milieu de ce tissu; l'endoderme devient irrégulier, mais il subsiste légèrement subérifié. Le liber prend un assez grand développement, seulement il ne se forme pas de fibres libériennes; les faisceaux ligneux, plus développés que les faisceaux libériens, sont composés uniquement de vaisseaux isolés au milieu de parenchyme non lignifié. Enfin, pendant que tous les tissus de la tige s'accroissent, la moelle semble complètement arrêtée dans son développement.

Comment expliquer toutes ces différences de structure? Les tiges florales ont surtout besoin d'être soutenues; aussi comprend-on l'existence de l'anneau de soutien. Dans les stolons, la tige est appuyée sur le sol, l'appareil d'affermissement n'a pas besoin d'être aussi puissant; aussi la transformation du tissu fondamental en fibres, au lieu de s'étendre à toutes les cellules des rayons médullaires et de contourner les faisceaux libériens, s'étend-elle seulement à la portion des rayons médullaires qui se trouve entre les faisceaux du bois. Dans les jeunes rhizomes, cet anneau même n'est plus nécessaire, il disparaît. Comme le liber et le bois ne sont plus enfermés dans une gaine fibreuse, la couche génératrice fonctionne avec activité pendant que la tige vieillit; comme la lignification se fait avec difficulté dans les parties souterraines, les vaisseaux seuls ou presque seuls se lignifient. Quant à l'explication des deux structures des vieux rhizomes, elle peut se trouver dans ce fait que les stolons peuvent rentrer sous le sol et former des rhizomes jeunes ayant un anneau ligneux autour de la moelle; à partir de ce moment, la structure des vieux rhizomes doit se manifester.

En résumé, l'étude un peu étendue de cette grande famille du règne végétal montre que dans les parties souterraines :
1° la couche subéreuse tend à remplacer l'épiderme seulement

subérifié qui se forme au début; 2° le *parenchyme cortical* croît et de *grands canaux sécréteurs* s'y creusent au milieu de sa masse ou aux dépens de l'endoderme; 3° l'*anneau fibreux* des tiges aériennes manque, les *fibres libériennes* elles-mêmes diminuent ou disparaissent également; 4° la *lignification* se fait très irrégulièrement dans le bois; 5° le *rapport de la moelle à l'écorce* diminue.

CAMPANULACÉES.

I. *Phyteuma orbiculare*. — La base souterraine de la tige de cette espèce présente une écorce en partie exfoliée par une couche subéreuse très importante. Le liber est exclusivement mou et très développé. Les faisceaux du bois sont importants, mais ils sont séparés par d'énormes rayons médullaires dans lesquels la lignification ne s'est pas produite; les faisceaux eux-mêmes sont lignifiés aussi très irrégulièrement, car les vaisseaux isolés sont entourés de parenchyme non imprégné de lignine. La moelle est extrêmement réduite.

Dans la partie aérienne, la moelle, au contraire, a pris un développement considérable et inversement le parenchyme cortical ne présente que six ou sept assises de cellules. L'endoderme, qui termine l'écorce, est reconnaissable non par ses ponctuations, mais par la subérification de toutes ses parois. Cette dernière assise, très régulière, est nettement circulaire, et entoure un cylindre central présentant deux anneaux successifs; le premier est formé par le liber exclusivement mou, le second est constitué par le bois; cette dernière région est entièrement lignifiée. La moelle est légèrement ponctuée et imprégnée de lignine; les cellules composant ce tissu vont en diminuant dans la région périphérique, de sorte qu'il se forme un arc fibreux autour du parenchyme non lignifié qui entoure les trachées des faisceaux primaires.

En résumé : 1° dans la partie souterraine, il existe des faisceaux très irrégulièrement lignifiés, séparés par des rayons médullaires non imprégnés de lignine, tandis que, dans la par-

tie aérienne, on observe un anneau ligneux complètement lignifié; 2° la moelle est très réduite dans la partie enterrée.

Le *Phyteuma hemisphaericum* présente la même organisation.

II. *Campanula persicifolia*. — La partie souterraine du *Campanula persicifolia* présente trois caractères principaux : la moelle est d'abord très peu développée; en second lieu, le tissu ligneux forme un anneau complet autour de la moelle, la lignification se produit irrégulièrement dans la région interne, dans la moitié externe de l'anneau elle est entière; enfin, comme dernier caractère, il existe une forte couche subéreuse à la périphérie de la tige.

La moelle de la partie aérienne est beaucoup plus développée; son diamètre est, dans la partie souterraine, de 50 divisions micrométriques, il est de 130 dans la région dont il s'agit en ce moment. On trouve, comme dans le *Phyteuma*, un endoderme très régulier et subérifié qui entoure un anneau libérien sans fibres. L'anneau ligneux est complètement lignifié; les trachées seules sont entourées d'un parenchyme qu'on a déjà rencontré si souvent, et qui ne se lignifie pas.

En résumé, on trouve que, dans ces plantes, la partie souterraine est : 1° entourée d'une couche subéreuse puissante; 2° que la lignification de l'anneau ligneux est irrégulière; 3° que la moelle est très réduite.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Quand on compare, dans leur structure, la tige aérienne et le rhizome d'une même plante, il paraît naturel de penser que les différences observées entre ces deux organes ont une cause héréditaire. Il semble que l'axe souterrain, qui par ses réserves rend la plante vivace, et l'axe aérien, qui chaque année porte les feuilles vertes et les fleurs, soient deux organes distincts.

A quoi peut-on attribuer, par exemple, chez deux espèces voisines d'un même genre, que l'une soit annuelle et que l'autre soit vivace et munie d'un rhizome puissant, si ce n'est à des propriétés initiales du protoplasma de l'œuf chez ces deux végétaux?

Si l'hérédité est la cause de la présence ou de l'absence d'une tige souterraine, il semble vraisemblable, au premier abord, que, parmi les diversités de structure qu'on observe entre la tige aérienne et le rhizome, la majeure partie est héréditaire, indépendante de l'influence du milieu extérieur; il semble que, si la plante respire ou transpire sous le sol autrement que dans l'air, ce sont là des causes de variations secondaires qui ne modifient pas sensiblement l'organisation intérieure de l'axe.

L'ensemble des recherches qui précèdent prouve qu'il n'en est pas ainsi, et qu'au contraire, le milieu paraît avoir une influence prépondérante.

L'expérience est nécessaire, comme on l'a vu, pour résoudre une pareille question, l'anatomie comparée seule n'aurait pas

été suffisante pour servir de guide au milieu d'un dédale de faits en apparence contradictoires.

La partie expérimentale de ce mémoire a eu pour but de rechercher quels tissus étaient modifiés par le séjour des plantes sous le sol. On a vu alors comment se transforment les cellules de l'épiderme, cette membrane exposée plus que toutes les autres aux premiers dangers; on a exposé ce que deviennent les cellules de l'écorce, qui produisent la chlorophylle et un tissu de soutien dans les parties aériennes ordinaires; on a dit quel est le sort des cellules de l'endoderme, qui perdent si vite leur caractère; on a montré quels changements subissent les cellules de la couche cambiale, qui se transforment rapidement d'ordinaire en vaisseaux ligneux d'un côté et en tubes criblés de l'autre; on a vu enfin ce que deviennent les cellules médullaires, plus protégées que les autres, mais cependant aussi accessibles aux transformations. Les plantes soumises à l'expérience appartenaient à des familles très diverses; on pouvait donc s'attendre à trouver dans cette partie, la plus grande variété dans les changements de structure qui allaient se produire. Les conclusions ont prouvé, au contraire, que la plupart des modifications s'observent dans tous les végétaux examinés.

Ce fondement bien établi, j'ai cherché si ces modifications se retrouvent dans les rhizomes. La dernière partie de ce mémoire a permis de voir qu'il en est ainsi. Si l'on récapitule, en effet, les conclusions des différents chapitres, on constate les résultats suivants dans les tiges souterraines :

1° L'épiderme, quand il subsiste, se modifie; la subérine envahit sa paroi externe d'abord, et peut former une couche très épaisse, elle ne se montre que plus tard sur les parois latérales et internes.

2° L'écorce augmente, soit par l'accroissement de volume des cellules, soit par leur multiplication.

3° Le collenchyme ou diminue, ou disparaît; ce fait est surtout net lorsque ce tissu est développé aux angles de la tige aérienne.

4° Une couche subéreuse tend à se produire hâtivement; elle naît en des points variables dans l'épiderme, dans le parenchyme cortical, dans l'endoderme, dans l'assise périphérique, dans le liber. Cette couche se substitue quelquefois à un anneau de fibres qui existe dans les parties aériennes.

5° Il existe, en effet, très souvent un anneau de fibres dans les tiges aériennes, à la périphérie des faisceaux libéro-ligneux; un pareil anneau ne s'est jamais montré dans les parties tout à fait souterraines; il reste souvent, dans les tiges enterrées, quelques fibres libériennes, mais elles sont moins nombreuses que dans la partie aérienne. On observe donc dans les tiges souterraines la disparition de l'anneau fibreux ou la diminution des fibres libériennes.

6° Chez un grand nombre de plantes vivaces que j'ai eu l'occasion d'étudier, les faisceaux libéro-ligneux de la tige aérienne sont fermés, car ils sont emprisonnés dans l'anneau fibreux dont il vient d'être question; cet anneau disparaissant dans les tiges souterraines, les faisceaux y sont ouverts (1).

7° L'activité de la couche génératrice est très variable, mais la lignification se fait presque toujours irrégulièrement dans les faisceaux ligneux.

8° Le rapport de la moelle à l'écorce est plus faible que dans les parties aériennes.

9° Les matières nutritives, surtout l'amidon, y existent en grande abondance.

10° Les angles des tiges aériennes, quand elles présentent des saillies, tendent à disparaître.

En résumé, on doit attribuer à l'influence du milieu dans les tiges souterraines :

(1) On a vu, dans la partie expérimentale, que la couche génératrice cambiale de la tige enterrée est moins développée que dans la partie aérienne; or on vient de voir que les faisceaux des tiges aériennes sont souvent fermés, tandis que la couche cambiale existe dans la partie souterraine. Ces deux résultats tiennent à ce que les tiges comparées expérimentalement étaient de même âge, tandis que l'âge est différent dans le dernier cas; les rhizomes sont de vieilles tiges, et les tiges aériennes des plantes étudiées meurent au bout de l'année.

1° *Le grand développement des tissus de protection (épiderme subérifié, couche subéreuse);*

2° *La réduction ou la disparition de l'appareil de soutien (collenchyme, anneau fibreux, fibres libériennes);*

3° *Le grand développement de l'écorce et la réduction relative de la moelle;*

4° *La faible lignification;*

5° *La production de matières de réserve.*

Ces conclusions montrent donc que l'influence immédiate du milieu est considérable, et qu'on doit lui attribuer les plus grandes différences qui existent entre les tiges aériennes et les souterraines. L'hérédité morphologique joue cependant un rôle, nous avons eu l'occasion d'en citer quelques cas nets, mais les différences qui sont sous sa dépendance n'ont ni la généralité, ni l'importance de celles dues au milieu.

Cet ensemble de faits pourrait conduire à penser que l'existence d'un rhizome dans une espèce n'est pas un caractère aussi immuable que le premier aspect des choses peut le faire croire.

On sait que le nombre des espèces vivaces augmente avec l'altitude. Ainsi, pour quelques genres dont les espèces sont très nombreuses et très communes, on trouve au-dessus de 600 mètres seulement 40 pour 100 d'espèces vivaces, de 600 à 1800 mètres 67 pour 100, et au-dessus de 1800 mètres 94 pour 100 (1).

Il y a plus, la même espèce peut être annuelle dans les basses altitudes et vivace dans les hautes régions alpines où elle acquiert une tige souterraine (2). La durée d'une plante, la présence d'un rhizome seraient donc, au moins dans certains cas, sous la dépendance immédiate des conditions physiques.

(1) G. Bonnier et Ch. Flahault, *Observations sur les modifications des végétaux suivant les conditions physiques du milieu* (Ann. des sc. nat., Bot., 6^e série, t. VII, p. 104).

(2) *Ibid.*, p. 103. L'ensablement peut produire le même fait : Cosson (Bull. de la Soc. bot. de France, 2^e série, t. IV, 1882, p. 49).

On peut comprendre à quel point le milieu joue un rôle considérable dans la vie des végétaux, si l'on réfléchit que, chez une même plante, une même cellule jeune peut être modifiée dans son développement normal par les conditions extérieures de manière à donner en se différenciant soit une fibre lignifiée, élément de soutien, soit une cellule molle à contenu nutritif, élément de réserve.

Les quelques résultats obtenus dans ce travail donnent lieu d'espérer qu'en modifiant de diverses manières les conditions d'existence des plantes, on arrivera à trouver des variations qui pourront jeter un jour nouveau sur la vie intime des éléments de l'organisme végétal.

Ces recherches ont été faites au laboratoire de botanique de l'École Normale Supérieure, sous la direction bienveillante de M. Bonnier, Maître de conférences.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE 1.

Fig. 1 à 8. — *Rubus fruticosus*.

Fig. 1. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *pc*, parenchyme cortical; *as*, couche subéreuse; *fl*, fibres libériennes; *l*, liber mou; *b*, bois; *m*, tissu médullaire lignifié; *cg*, couche génératrice libéro-ligneuse.

Fig. 2. Section transversale du tubercule jeune. Mêmes lettres que la section précédente; *p*, parenchyme non lignifié à la périphérie de la moelle.

Fig. 3. Section transversale d'un faisceau de l'extrémité jeune du tubercule. Mêmes lettres que les figures précédentes; *ap*, assise périphérique en voie de division; *m*, moelle non lignifiée.

Fig. 4. Section transversale d'un faisceau d'une jeune pousse aérienne faite au cinquième entre-nœud. Mêmes lettres que les figures précédentes.

Fig. 5. Section transversale d'un faisceau d'une pousse émise par le tubercule, et maintenue sous terre pendant six mois. Mêmes lettres; *end*, endoderme.

Fig. 6. Figure montrant l'endoderme *end* en voie de division; c'est dans cette assise que la couche subéreuse *as* prend naissance.

Fig. 7. Aspect extérieur d'un jeune tubercule : *a*, point où la section de la figure 1 a été faite; *d*, endroit de la section de la figure 2; *b*, bourgeon; *r*, racines adventives.

Fig. 8. Aspect extérieur d'un vieux tubercule émettant plusieurs pousses qui vont sortir du sol *p*; *a*, tige aérienne vieille; *r*, vieille racine adventive.

PLANCHE 2.

Fig. 9 à 12. — *Faba vulgaris*.

Les figures 11 et 12 sont comparables (1).

Fig. 9 et 10. Aspect extérieur de deux tiges développées l'une (fig. 9) à l'air, l'autre (fig. 10) en terre : *f*, feuilles; *s*, stipules; *b* et *c*, points où les sections des deux figures suivantes ont été faites; *c*, l'épiderme est brunâtre en cet endroit.

Fig. 11. Section transversale des tissus périphériques de la tige aérienne : *ep* épiderme; *pc*, parenchyme cortical; *fl*, fibres libériennes; *end*, endoderme sans ponctuations. Section faite en *b* (voy. fig. 9).

(1) Les figures comparables sont faites au même grossissement.

Fig. 12. Section transversale des tissus périphériques de la tige maintenue sous le sol; cette section est faite à une hauteur correspondant à celle à laquelle la coupe précédente a été faite en *c* (voy. fig. 10). Mêmes lettres que dans la figure précédente; *end*, endoderme offrant des ponctuations.

Fig. 13 à 16. — *Aralia pentaphylla*.

Fig. 13. Section transversale des tissus périphériques de la tige aérienne : *ep*, épiderme cuticularisé; *col*, collenchyme; *fl*, fibres libériennes; *l*, liber mou; *b*, bois; *rm*, rayons médullaires; *cr*, canaux sécréteurs de l'écorce et du liber.

Fig. 14. Section transversale des tissus périphériques de la partie enterrée de la marcotte dans la région voisine de la surface du sol. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *pc*, parenchyme cortical.

Fig. 15. Section transversale de la pointe interne d'un faisceau ligneux de la tige aérienne : *rm*, rayons médullaires; *f*, fibres ligneuses; *a*, tissu fibreux entourant les trachées.

Fig. 16. Section transversale de la pointe interne d'un faisceaux ligneux de la partie enterrée : *rm*, rayons médullaires; *a*, tissu non lignifié dont les parois ne sont pas épaissies et entourant les trachées *t*.

Fig. 17 à 26. — *Solanum tuberosum*.

Fig. 17. Aspect général d'une tige de Pomme de terre poussée dans une cave et ayant atteint une longueur de plus de 1 mètre, la partie où existent les racines adventives était sous le sable : *ps*, commencement de la partie souterraine; *po*, partie à l'obscurité; *a*, *b*, ... *k*, différents nœuds de la tige.

Fig. 18 à 23. Dessins des nœuds grossis de la figure précédente. On voit qu'à mesure qu'on se rapproche de la partie enterrée la feuille *f* se réduit, et le rameau *p*, développé à son aisselle, prend un grand accroissement. Dans la figure 23, on voit que les racines adventives sont nombreuses, *r*. La figure 18 (*d*) est le nœud *d* de la figure 17; la fig. 19 (*e*) est le nœud *e* de la figure 17; etc.

Les figures 24 à 26 représentent l'aspect extérieur de deux tiges développées l'une à l'air, l'autre sous terre.

Fig. 24. Tige maintenue enterrée. Sur la branche *b*, il naît des feuilles *f* et des jeunes pousses *p*; ces dernières sont assez développées.

Fig. 25. Tige maintenue enterrée. La feuille a disparu, et la pousse s'est allongée et renflée en un petit tubercule à son extrémité *t*.

Fig. 26. Tige aérienne. — La pousse *p*, née à l'aisselle de la feuille *f*, est très réduite; *b* est la branche aérienne.

PLANCHE 3.

Fig. 27 à 30. — *Solanum tuberosum* (suite).

Les figures 27 et 28 ainsi que 29 et 30 sont comparables.

Fig. 27. Section transversale de la tige aérienne en face d'un jeune faisceau libéro-ligneux : *ep*, épiderme; *col*, collenchyme; *pc*, parenchyme cortical; *end*, endoderme; *a*, point de l'endoderme où les plissements n'existent pas; *le*, liber externe; *b*, bois; *pl*, parenchyme ligneux; *li*, liber interne.

Fig. 28. Section transversale de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que la figure précédente.

Fig. 29. Section transversale d'un grand faisceau de la tige aérienne : *fle*, fibres libériennes externes; *cg*, couche génératrice cambiale; *fli*, fibres libériennes internes; et, pour les autres tissus, les mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 30. Section transversale d'un grand faisceau de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *l*, liber externe.

Fig. 31 à 34. — *Cicer arietinum*.

Les figures 31 et 32 ainsi que 33 et 34 sont comparables.

Fig. 31. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *end*, endoderme cristalligène; *fl*, fibres libériennes; *l*, liber mou; *cg*, couche génératrice cambiale existant entre les faisceaux libéro-ligneux; *b*, vaisseaux du bois.

Fig. 32. Section transversale d'un faisceau de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *cg*, la couche génératrice n'existe qu'entre le bois et le liber.

Les figures 33 et 34 sont faites au même grossissement et montrent le développement très important du parenchyme cortical dans la partie enterrée.

Fig. 33. Section transversale du parenchyme cortical de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *pc*, parenchyme cortical.

Fig. 34. Section transversale du parenchyme cortical de la tige aérienne maintenue enterrée. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *end*, endoderme.

PLANCHE 4.

Fig. 35 à 41. — *Cucurbita Pepo*.

Les figures 35, 36 et 37 sont comparables.

Fig. 35. Section transversale d'un faisceau libéro-ligneux de la tige aérienne : *end*, endoderme; *fl*, fibres libériennes; *le*, liber externe; *cge*, couche libéro-ligneuse externe; *b*, bois; *cge*, couche génératrice libérienne externe; *li*, liber interne.

Fig. 36. Section transversale d'un faisceau libéro-ligneux de la tige maintenue enterrée et faite à une hauteur comparable à celle du cas précédent. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

Fig. 37. Section transversale d'un faisceau libéro-ligneux de la tige maintenue à l'air et à l'obscurité; cette section est faite à une hauteur correspondant aux deux coupes précédentes. Mêmes lettres que dans les figures 35 et 36.

Les figures 38 et 39 sont des sections longitudinales d'un faisceau libérien; ces deux coupes sont faites à des hauteurs correspondantes.

Fig. 38. Liber de la tige aérienne : *fl*, fibres libériennes; *a*, cellules à contenu protoplasmique très dense; *tc*, tubes criblés; *cg*, couche génératrice cambiale; *p*, parenchyme libérien.

Fig. 39. Liber de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

Les figures 40 et 41 sont comparables et représentent les faisceaux du bois des tiges aérienne et souterraine.

Fig. 40. Section longitudinale du faisceau du bois de la tige aérienne : *va*, vaisseau annelé; *vs*, vaisseau spiralé; *vp*, vaisseau ponctué; *p*, parenchyme ligneux.

Fig. 41. Section longitudinale d'un faisceau du bois de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

Fig. 42 à 45. — *Lupinus albus*.

Les figures 42 et 43, ainsi que les figures 44 et 45, sont comparables.

Fig. 42. Section transversale d'un faisceau libéro-ligneux de la tige aérienne : *end*, endoderme; *ap*, assise périphérique; *fl*, fibres libériennes; *l*, liber mou; *cg*, couche génératrice cambiale; *b*, vaisseaux du bois.

Fig. 43. Section transversale d'un faisceau libéro-ligneux de la tige maintenue enterrée. Cette coupe est faite à une hauteur correspondant à la coupe précédente. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

Fig. 44. Aspect extérieur de la tige aérienne : *t*, tige; *c*, cotylédon.

Fig. 45. Aspect extérieur de la tige maintenue enterrée. Mêmes lettres que la figure précédente.

Fig. 46 et 47. — *Mirabilis Jalapa*.

Les figures 46 et 47 sont comparables.

Fig. 46. Section transversale de la tige aérienne : *end*, endoderme; *l*, liber mou; *cg*, couche génératrice libéro-ligneuse; *b*, vaisseaux du bois.

Fig. 47. Section transversale de la tige maintenue souterraine. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

PLANCHE 5.

Fig. 48 à 56. — *Ricinus communis*.

Les figures 48, 49, 50 sont comparables, ainsi que 51 et 52, 53 et 54, 55 et 56.

Fig. 48. Section transversale d'un faisceau de la tige aérienne : *fl*, fibres libériennes; *l*, liber mou; *cg*, couche génératrice libéro-ligneuse; *b*, vaisseaux du bois; *ju*, vaisseaux du bois non encore lignifiés.

Fig. 49. Section transversale d'un faisceau de la tige maintenue enterrée : *end*, endoderme; *l*, liber mou; *b*, bois; *ju*, jeune vaisseau.

Fig. 50. Section transversale d'un faisceau de la tige développé à l'abri de la lumière et à l'air. Mêmes lettres que la figure précédente.

Fig. 51. Section longitudinale de l'écorce de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *pc*, parenchyme cortical.

Fig. 52. Section longitudinale de l'écorce de la tige maintenue enterrée : *ep*, épiderme; *pc*, parenchyme cortical.

Fig. 53. Section longitudinale du liber de la tige aérienne : *fl*, fibres libériennes; *pl*, parenchyme libérien; *tc*, tubes criblés; *cg*, couche génératrice.

Fig. 54. Section longitudinale du liber de la tige maintenue sous le sol. Mêmes lettres que la figure précédente.

Fig. 55. Section longitudinale d'un faisceau du bois de la tige aérienne : *vs*, vaisseaux spirales; *vr*, vaisseaux réticulés; *pl*, parenchyme ligneux; *ju*, jeune vaisseau bien formé avec ses ponctuations, mais non encore lignifié; *ve*, vaisseau tout à fait à l'état embryonnaire; le noyau existe encore, le protoplasma se groupe aux points où la membrane va s'épaissir; *cl*, cloison.

Fig. 56. Section longitudinale d'un faisceau du bois de la tige maintenue sous le sol; cette section est faite à une hauteur correspondant à celle à laquelle la coupe précédente a été faite. Mêmes lettres.

Fig. 57 à 60. — *Lychnis dioica*.

Fig. 57. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *pc*, parenchyme cortical; *end*, endoderme; *f*, anneau fibreux; *col*, collenchyme interne existant entre les fibres et le liber mou et à la périphérie de la moelle; *l*, liber mou; *b*, bois.

Fig. 58. Section transversale des tissus périphériques d'une partie enterrée, mais peu profondément. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *a*, cellules dont les parois ne se sont pas épaissies quoiqu'elles fassent partie de la couche de cellules qui, dans la coupe précédente, étaient transformées en fibres; *b*, cellules à parois épaissies, mais non lignifiées. Cette figure indique bien la dégradation de l'anneau fibreux précédent; *d*, cellules du collenchyme en voie de division.

Fig. 59. Section des tissus périphériques d'une partie plus enfoncée dans le sol. Mêmes lettres; *cs*, couche subéreuse. Le parenchyme cortical est envahi par la subérine.

Fig. 60. Section transversale d'une tige aérienne jeune montrant l'anneau fibreux non encore lignifié et surtout indiquant bien sa position par rapport à l'endoderme *end*, qui est, dans ce cas, amylicère.

PLANCHE 6.

Fig. 61 et 62. — *Sanicula europæa*.

Fig. 61. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme ; *col*, collenchyme cortical ; *pc*, parenchyme cortical ; *end*, endoderme, cette assise est en partie lignifiée ; *f*, anneau de fibres reliant les faisceaux entre eux ; *rm*, rayons médullaires dont les cellules externes sont transformées en fibres, dont les cellules plus internes sont simplement lignifiées ; *l*, liber mou formant des îlots ; *b*, vaisseaux du bois ; *p*, parenchyme non lignifié à la pointe interne des faisceaux du bois entouré d'un arc de fibres médullaires.

Fig. 62. Section transversale des deux faisceaux libéro-ligneux de la partie souterraine de la tige. Mêmes lettres que la figure précédente ; *pn*, parenchyme non lignifié entourant les vaisseaux du bois qui sont seuls lignifiés.

Fig. 63 à 66. — *Urtica dioica*.

Fig. 63. Aspect extérieur de la tige étudiée ; la vieille tige émet un rameau qui sort du sol, rampe à la surface, et rentre sous terre un peu plus loin : *a*, partie jeune enterrée ; de *b* à *c*, la tige rampe à la surface du sol ; *d*, partie tout à fait enterrée ; *k*, partie enterrée peu profondément ; *vt*, vieille tige.

Fig. 64. Section transversale de la tige aérienne rampante, coupée à la hauteur du point *c* (voy. fig. 63) : *ep*, épiderme ; *col*, collenchyme ; *pc*, parenchyme cortical ; *fl*, fibres libériennes ; *l*, liber mou ; *b*, vaisseaux du bois ; le faisceau ligneux est en saillie sur l'arc de parenchyme ligneux *pl*, qui relie les faisceaux entre eux ; *pn*, parenchyme non lignifié.

Fig. 65. Section transversale des tissus périphériques de la tige dès qu'on pénètre sous le sol au point *k* (voy. fig. 63). Mêmes lettres que précédemment ; *cs*, couche subéreuse.

Fig. 66. Section transversale d'une partie souterraine plus âgée à la hauteur du point d'insertion sur la tige mère en *d* (fig. 63). La couche subéreuse *cs* est beaucoup plus développée ; les fibres libériennes *fl* sont éparées ; le tissu ligneux surtout a pris une grande importance ; mêmes lettres que dans la figure 64.

Fig. 67 à 69. — *Anemone nemorosa*.

Fig. 67. Section transversale du pédoncule floral : *ep*, épiderme ; *pc*, parenchyme cortical ; *end*, endoderme légèrement lignifié ; *fl*, fibres libériennes ; *l*, liber mou ; *b*, vaisseaux du bois.

Fig. 68. Section transversale d'une partie jeune du rhizome. Mêmes lettres que dans la figure précédente ; *fc*, fibres corticales isolées.

Fig. 69. Section transversale d'un faisceau d'un rhizome plus âgé : *cs*, canal sécréteur ; *end*, endoderme visible avec ses ponctuations ; *col*, collenchyme qui entoure le faisceau et passe entre l'endoderme et le liber mou ; *cg*, couche génératrice ; *b*, vaisseaux entourés de parenchyme non lignifié.

Fig. 70 et 71. — *Thalictrum minus*.

Fig. 70. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme ; *pc*, parenchyme cortical ; *af*, anneau de fibres à la périphérie des faisceaux libéro-ligneux disposés sur plusieurs cercles ; *l₁*, liber mou des faisceaux les plus externes ; *b₁*, vaisseaux ligneux du cercle externe de faisceaux ; ces faisceaux ne présentent pas de parenchyme non lignifié à la pointe interne ; *l₂* et *b₂*, liber mou et vaisseaux du bois des faisceaux du second cercle ; *p*, parenchyme non lignifié ; *m*, moelle lignifiée.

Fig. 71. Tissus périphériques du commencement de la partie souterraine. Le parenchyme cortical a crû beaucoup par suite de la division d'un grand nombre de ses cellules *a* ; l'anneau de fibres subsiste encore.

PLANCHE 7.

Fig. 72 et 73. — *Thalictrum minus* (suite).

Fig. 72. Suite du passage de la partie aérienne à la partie enterrée. Section transversale dans une région plus enfoncée dans le sol. Mêmes lettres ; *cs*, couche subéreuse se substituant à l'anneau fibreux qui a disparu ; *fl*, fibres libériennes.

ig. 73. Rhizome. Les fibres libériennes *fl* sont extrêmement réduites ; *b*, vaisseau du bois ; *f*, fibres très lignifiées existant à la périphérie de la moelle et entourant un parenchyme non lignifié *p*.

Fig. 74 et 75. — *Corydalis lutea*.

Fig. 74. Section transversale des tissus périphériques de la tige aérienne : *ep*, épiderme ; *pc*, parenchyme cortical ; *a*, anneau de cellules lignifiées ; *f*, fibres isolées.

Fig. 75. Section transversale des tissus périphériques de la tige souterraine. Mêmes lettres que la coupe précédente ; l'anneau de cellules lignifiées a disparu.

Fig. 76 et 78. — *Teucrium Scorodonia*.

Fig. 76. Section transversale de la moitié d'un faisceau existant à un des coins du corps central : *ep*, épiderme ; *pc*, parenchyme cortical ; *end*, endoderme ; *ap*, cellules de l'assise en contact avec l'endoderme non encore transformée en fibres libériennes ; *l*, liber mou ; *b*, vaisseaux du bois ; *p*, parenchyme non lignifié ; *m*, cellules de la moelle lignifiées et transformées en fibres à sa périphérie.

- Fig. 77. Section transversale d'une moitié de l'angle de la tige aérienne jeune. Mêmes lettres que précédemment; l'endoderme offre des ponctuations nettes, les fibres libériennes sont moins nombreuses; *col*, collenchyme.
- Fig. 78. Section transversale d'un coin d'une tige enterrée; le dessin est fait au même grossissement que la figure 76 auquel il est comparable. Mêmes lettres.

Fig. 79. — *Scrofularia nodosa*.

- Fig. 79. Aspect extérieur des tubercules de cette plante existant à la base de la tige aérienne : *vt*, vieille tige; *t*, tubercule vieux; *jt*, jeunes tubercules; *ta*, tige aérienne jeune.

Fig. 80 et 81. — *Anchusa italica*.

- Fig. 80. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme; *col*, collenchyme; *pc*, parenchyme cortical; *end*, endoderme; *l*, liber un peu collenchymateux; *b*, vaisseau du bois, l'ensemble du tissu ligneux forme un anneau autour de la tige moelle *m*; *p*, parenchyme non lignifié.
- Fig. 81. Section transversale d'une partie d'un faisceau de la base souterraine de la tige : *l*, liber formé de cellules empilées les unes derrière les autres en files radiales; *cg*, couche génératrice libéro-ligneuse; *b*, vaisseaux du bois entourés d'un peu de parenchyme ligneux; *pn*, parenchyme non lignifié des faisceaux; *rm*, rayons médullaires.

PLANCHE 8.

Fig. 82 et 83. — *Calystegia sepium*.

- Fig. 82. Section transversale de la tige aérienne : *ep*, épiderme dont les cellules se prolongent en papilles; *pc*, parenchyme cortical formé à l'extérieur de petites cellules et à l'intérieur de grandes; *end*, endoderme; *le*, liber externe; *b*, anneau ligneux; *li*, liber interne; *m*, moelle.
- Fig. 83. Section transversale du rhizome. Mêmes lettres que dans la figure précédente.

Fig. 84. — *Galium Mollugo*.

- Fig. 84. Aspect extérieur de la partie souterraine de cette plante : *ta*, jeunes tiges aériennes; *ps*, partie souterraine.

Fig. 85 et 86. — *Achillea Millefolium*.

- Fig. 85. Section transversale de tige aérienne : *ep*, épiderme; *col*, tissu collenchymateux; *pc*, parenchyme cortical; *end*, endoderme; *af*, fibres de soutien; *l*, liber mou; *l₁*, en ce point ce dernier tissu a presque complètement disparu; *b*, vaisseaux du bois; *p*, parenchyme non lignifié; *f*, fibres médullaires; *m*, moelle lignifiée.
- Fig. 86. Section transversale d'une jeune tige souterraine. Mêmes lettres que dans la figure précédente; *cs*, couche subéreuse; *cr*, canal sécréteur.

Fig. 87 et 88. — *Artemisia mutellina*.

Fig. 87. Section transversale de la tige aérienne. Mêmes lettres que dans les figures précédentes.

Fig. 88. Section transversale de la partie souterraine de la tige. Mêmes lettres ; *fl*, fibres libériennes

Fig. 89. — *Solidago Virga-aurea*.

Fig. 89. Section transversale de la partie souterraine montrant la couche subéreuse *cs* ; le parenchyme cortical très développé *pc* ; le canal sécréteur *cr* ; les fibres libériennes *fl* ; l'endoderme *end*.

Fig. 90. — *Doronicum Pardalianches*.

Fig. 90. Naissance d'un canal sécréteur : *pc*, parenchyme cortical ; *cr*, canal sécréteur ; *end*, endoderme.

Vu et approuvé, Paris, le 9 juin 1883.

Le Doyen de la Faculté des sciences,

MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer, le 10 juin 1883.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — Des mécanismes respiratoires chez les Vertébrés.

GÉOLOGIE. — De l'éocène inférieur en France, en Belgique
et en Angleterre.

Vu et approuvé, Paris, le 9 juin 1883.

Le Doyen de la Faculté des sciences,

MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer, le 10 juin 1883,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

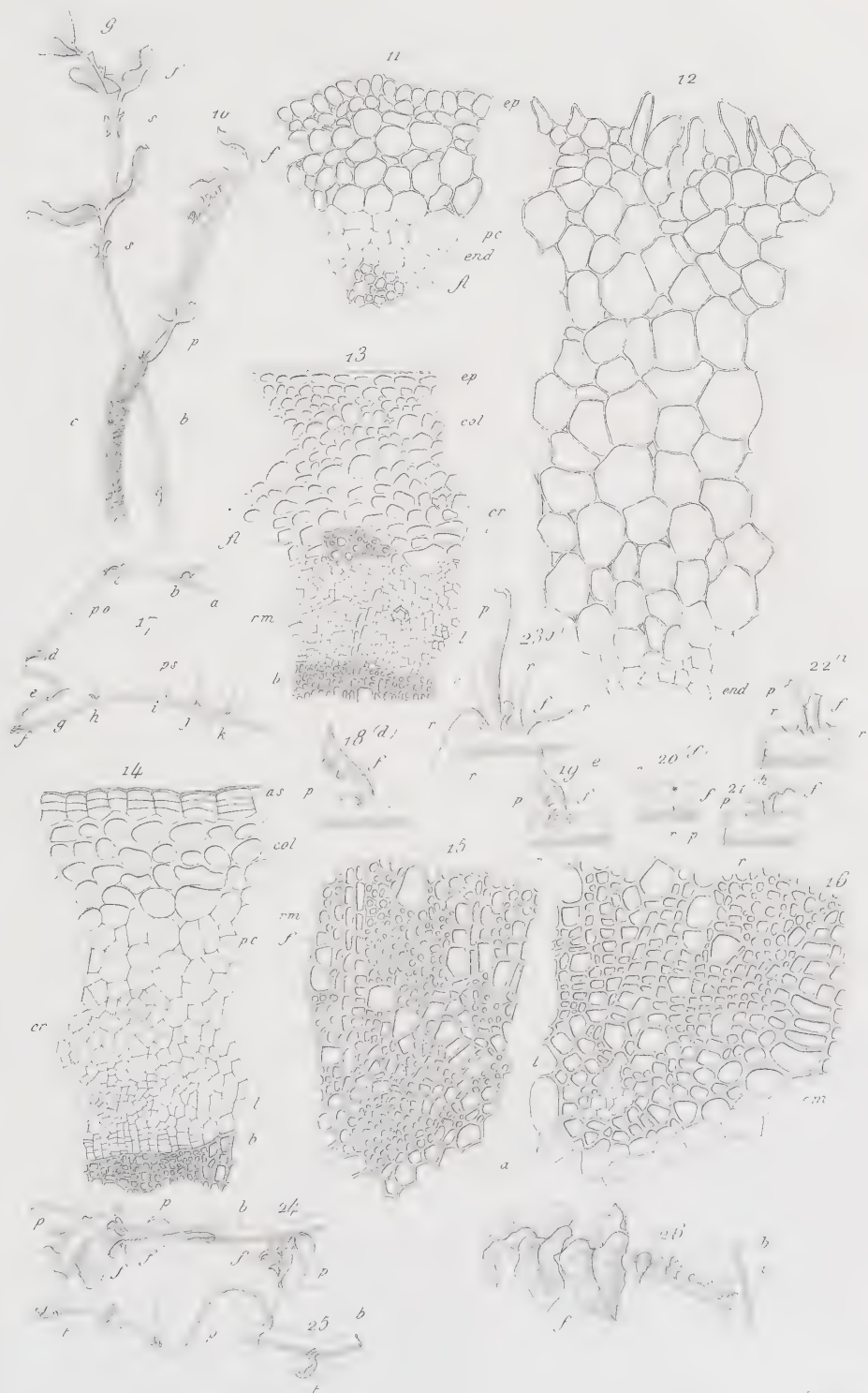


Costantin del.

Pierre sc.

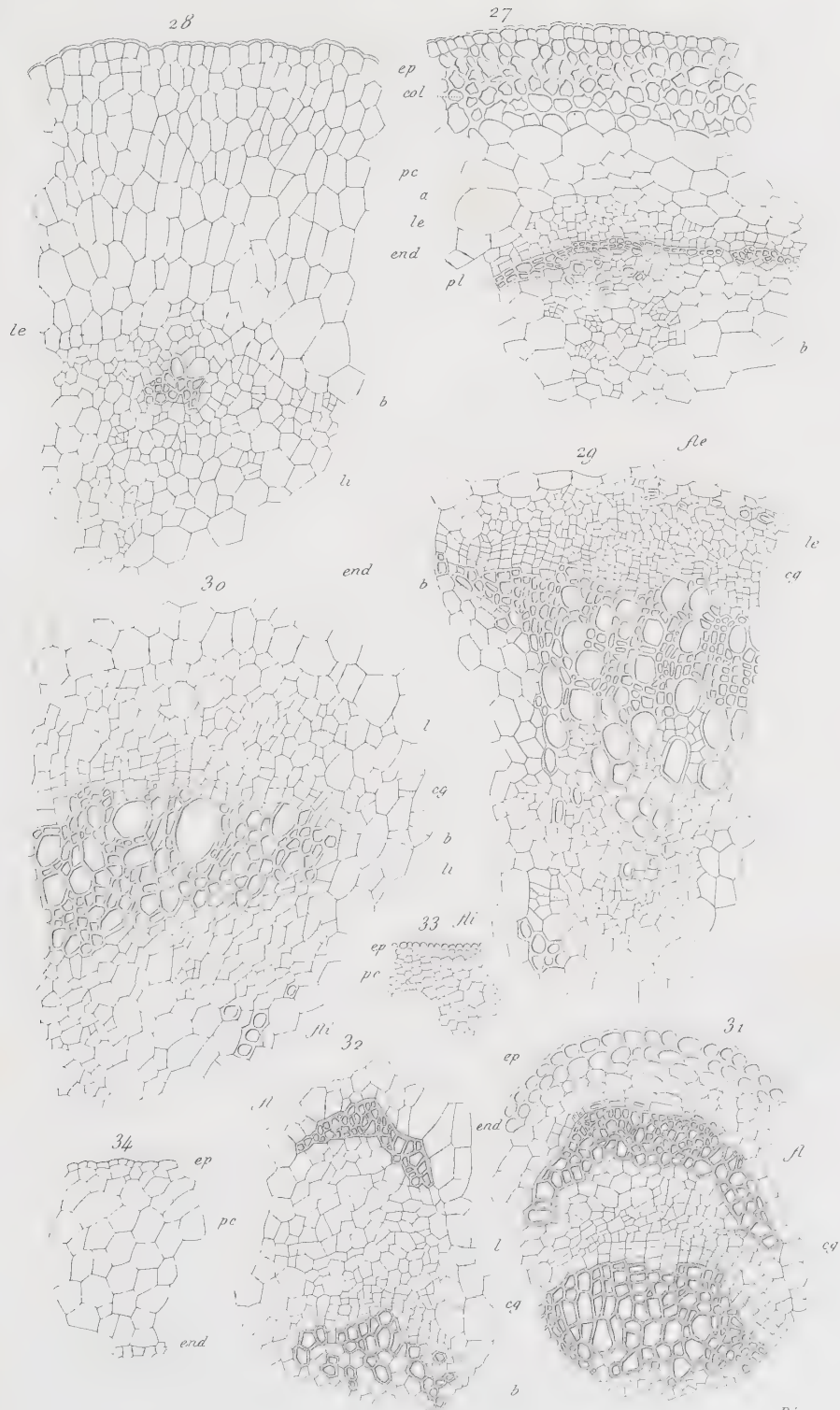
Enracinement de la Ronce.

Imp. Lemerrier et C^{ie} Paris



Costantin del.

Faba (9, 11, aér. — 10, 12, souterr.). *Aralia* (13, 15, aér. —
14, 16, souterr.). *Solanum* (17 a 26),

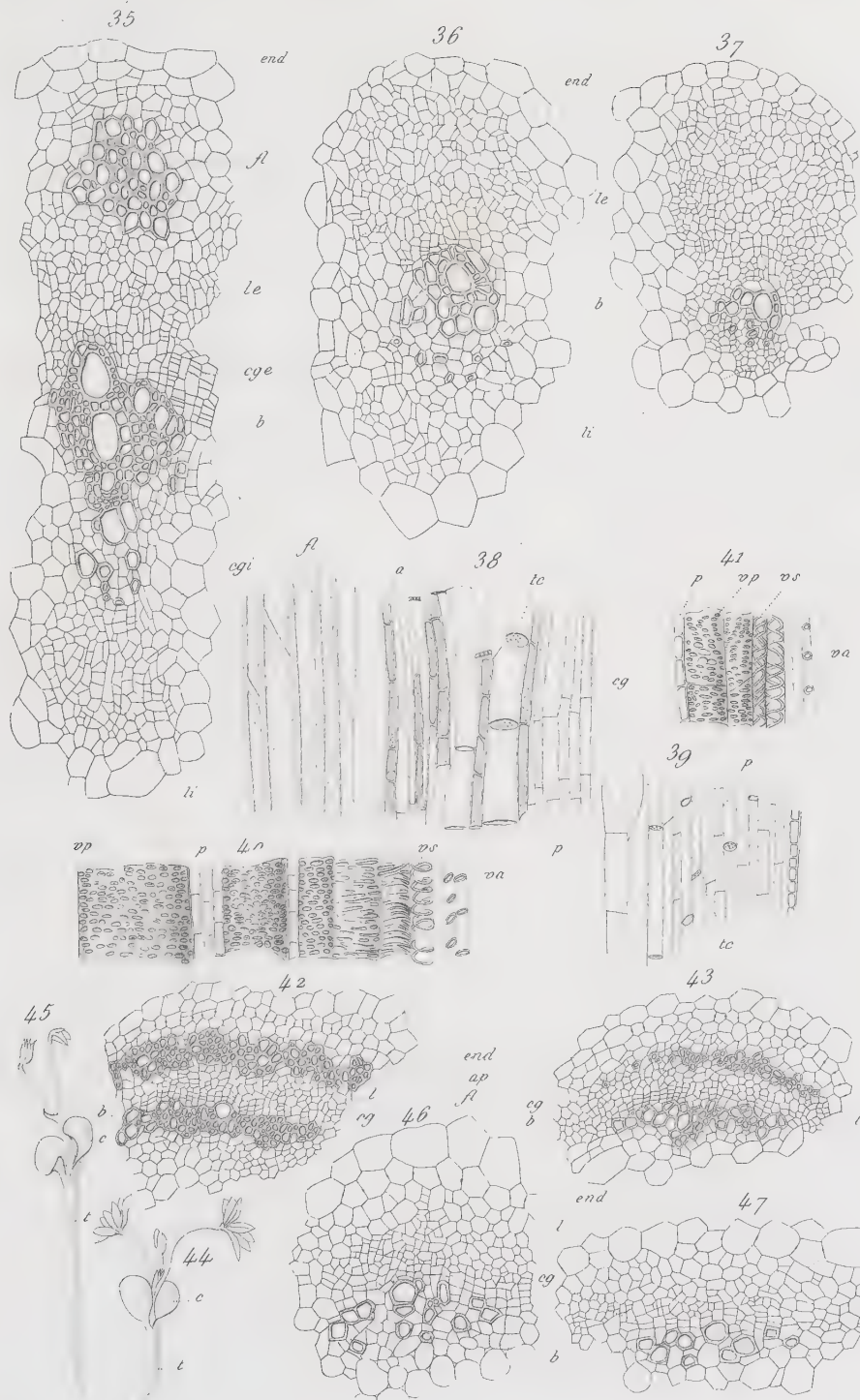


Costantin del.

Pierre sc.

Solanum (27, 29, aér. — 28, 30, souterr.)

Pisum (31, 33, aér. — 32, 34, souterr.)



Cōstantin del.

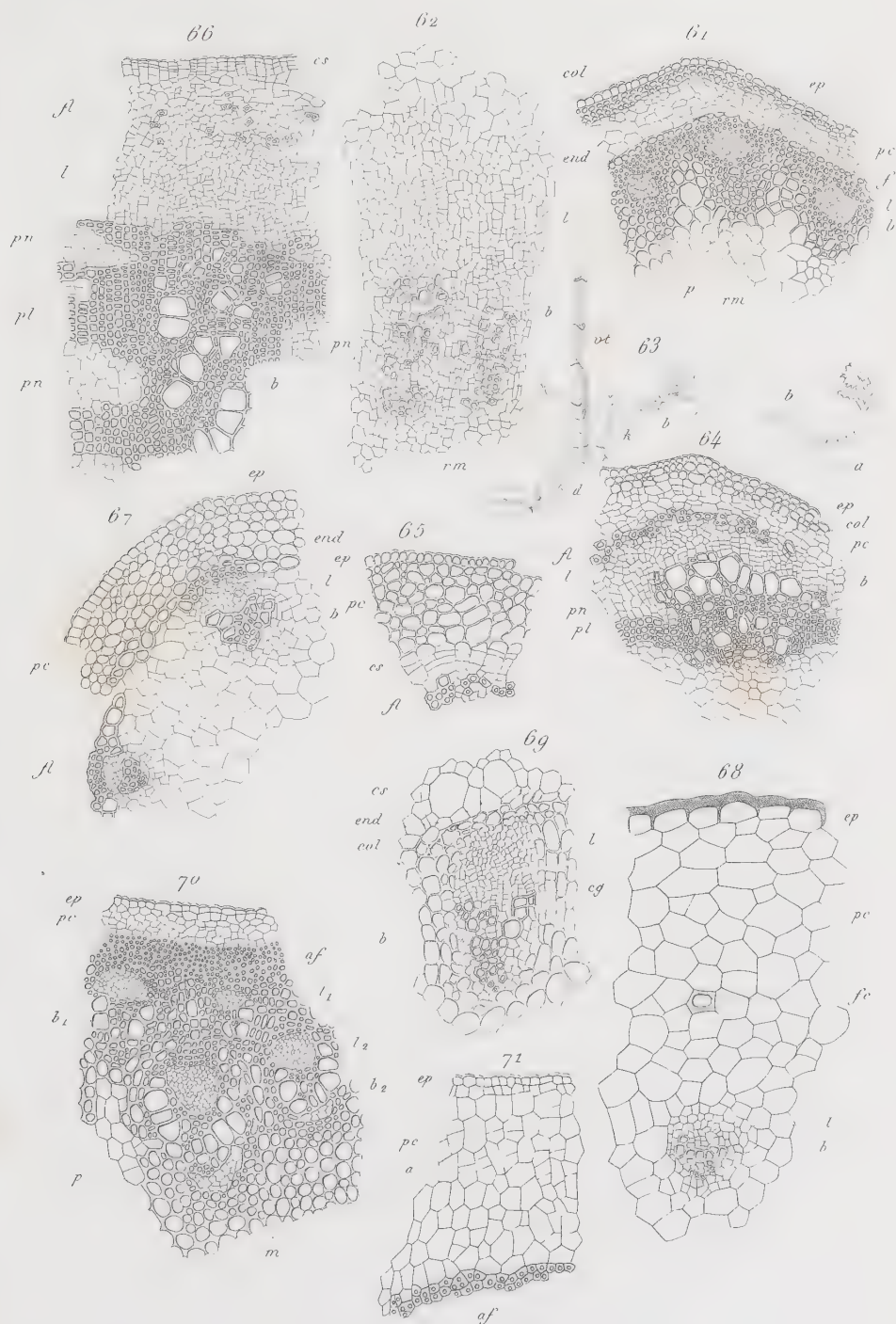
Pierre sc.

Cucurbita (35, 38, 40, aér. — 36, 39, 41, souterr. — 37, obsc.)
Lupinus (42, 44, aér. — 43, 45, souterr.) *Mirabilis* (46, aér. — 47, souterr.)

Imp. Lemercier et C^{ie} Paris.

Imp. Lemerrier et C^{ie} Paris





Costantin del.

Pierre sc.

Sanicula (61, aér. - 62, souterr.), *Urtica* (63, 64, aér. - 65, 66, souterr.),
Anemone (67, aér. - 68, 69, souterr.), *Thalictrum* (70, aér. - 71, souterr.)



Constantin del.

Pierre sc

Thalictrum (72, 73, souterr.), *Corydalis* (74, aér. - 75, souterr.)

Teucrium (76, 77, aér. - 78, souterr.), *Scrofularia* (79), *Anchusa* (80, aér. - 81, souterr.)



Costantin del.

Pierre sc.

Calystegia (82, aér. - 83, souterr.), *Galium* (84), *Achillea* (85, aér. - 86, souterr.),

Artemisia (87, aér. - 88, souterr.) *Solidago* (89), *Doronicum* (90)

